



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO

Centro de Ciências Matemáticas e da Natureza

Instituto de Geociências

Departamento de Geologia

**CARACTERIZAÇÃO PETROGRÁFICA E QUÍMICA MINERAL DO
ORTOGNAISSE ESTRELA E DOS LITOTIPOS ASSOCIADOS, NO
DISTRITO DE ESTRELA DO NORTE, ESPÍRITO SANTO**

Trabalho final de curso

Geologia

(IGL-U08)

VICTOR HUGGO MESQUITA PEREIRA

Orientador: Prof. Dr. Julio Cezar Mendes

UFRJ
Rio de Janeiro
2020



**CARACTERIZAÇÃO PETROGRÁFICA E QUÍMICA MINERAL DO
ORTOGNAISSE ESTRELA E DOS LITOTIPOS ASSOCIADOS, NO
DISTRITO DE ESTRELA DO NORTE, ESPÍRITO SANTO**

VICTOR HUGGO MESQUITA PEREIRA

Trabalho Final de Curso de Graduação em
Geologia do Instituto de Geociências,
Universidade Federal do Rio de Janeiro –
UFRJ, apresentado como requisito
necessário para obtenção do grau de
Geólogo.

Orientador: Prof. Dr. Julio Cezar Mendes

Pereira, Victor Huggo

Caracterização petrográfica e química mineral do Ortognaisse Estrela e dos litotipos associados, no distrito de Estrela do Norte, Espírito Santo/ Victor Huggo Pereira

- - Rio de Janeiro: UFRJ / IGeo, 2020.,

104pag.: il.; 30cm

Trabalho Final de Curso (Geologia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Departamento de Geologia, 2020.

Orientador: Julio Cezar Mendes.

1. Geologia. 2. Petrologia das rochas ígneas / Química mineral - Trabalho de Conclusão de Curso. I. Mendes, Julio Cezar. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Departamento de Geologia. III. Título.

VICTOR HUGGO MESQUITA PEREIRA

**CARACTERIZAÇÃO PETROGRÁFICA E QUÍMICA MINERAL DO
ORTOGNAISSE ESTRELA E DOS LITOTIPOS ASSOCIADOS, NO
DISTRITO DE ESTRELA DO NORTE, ESPÍRITO SANTO**

Trabalho Final de Curso de Graduação em
Geologia do Instituto de Geociências,
Universidade Federal do Rio de Janeiro –
UFRJ, apresentado como requisito
necessário para obtenção do grau de
Geólogo.

Orientador: Prof. Dr. Julio Cezar Mendes

Aprovada em ____ de _____ de 2020.

Por:

Orientador: Julio Cezar Mendes

Silvia Regina de Medeiros (UFRJ)

Patrícia Anselmo Duffles Teixeira (UFRJ)

Dedico este trabalho aos meus pais,
Paulo e Denize, e a minha namorada,
Natasha, que sempre estiveram ao
meu lado.

Agradecimentos

Gostaria de agradecer ao orientador, Júlio Cezar Mendes, por toda atenção e paciência durante a produção das etapas deste trabalho até o fim do mesmo.

Aos meus pais, Denize e Paulo e a minha namorada Natasha por me apoiarem durante todos períodos dentro da universidade.

A todos os professores e funcionários que se dedicam ao curso de graduação em geologia, da UFRJ, e que contribuíram direta ou indiretamente pela minha formação tanto profissional como pessoal durante os últimos cinco anos.

Aos amigos de graduação e também de trabalho, Matheus de Queiroz Toscano Carvalho, Sara Mendes Guilherme e Vinicius da Silva Alvarenga Coelho, que foram fundamentais durante esses cinco anos, tanto no decorrer do curso de graduação como nas expedições de campo para a área de estudo.

Ao senhor Pedro Vianna e a senhora Lila Vianna por nos hospedar durante as campanhas de campo.

E a todos aqueles que contribuíram mesmo que indiretamente para a minha qualificação profissional fora ou dentro da UFRJ.

RESUMO

PEREIRA, Victor Hugco. **Caracterização petrográfica e química mineral do Ortognaisse Estrela e dos litotipos associados, no distrito de Estrela do Norte, Espírito Santo.** 2020, 104f. Trabalho Final de Curso (Geologia) – Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

A região estudada localiza-se no sul do Espírito Santo no distrito de Estrela do Norte, município de Castelo. Encontra-se geologicamente inserida na faixa móvel Araçuaí, a qual registra diversos episódios de magmatismo no limite Neoproterozoico – Cambriano, relacionados ao evento panafricano-brasileiro, sendo subdivididos em cinco supersuítas, e o Ortognaisse Estrela (foco do trabalho) é interpretado como membro da supersuíta G1. Além dele, foram identificados outros cinco litotipos na área; o Leucogranito, o Paragnaisse, o Titanita granito, o Granito Alto Chapéu e o Diorito Alto Chapéu. O principal objetivo deste trabalho é a delimitação, caracterização petrográfica, química mineral e geotermobarométrica do Ortognaisse Estrela. Em lâmina o Ortognaisse Estrela apresenta composição variando de granodiorito a tonalito, textura inequigranular porfirítica a localmente equigranular e mostra feições localizadas de fusão parcial, apresentando como minerais essenciais plagioclásio, quartzo, biotita, hornblenda e por vezes K-feldspato. O Leucogranito é equigranular, localmente porfirítico, e tem composição de sienogranito, com biotita e hornblenda acessórias, podendo ser produto de fusão parcial do ortognaisse. A química mineral do Ortognaisse Estrela indica que os cristais de anfibólio são caracterizados como pargasita nos núcleos e Mg-hornblenda nas bordas. A biotita apresenta uma leve tendência de enriquecimento em Fe (~0,6 apfu). O K-feldspato tem composição média de $Or_{92,2}Ab_{7,6}An_{0,2}$ e o plagioclásio apresenta composição $An_{39,2}Ab_{60,6}Or_{0,2}$. Dentre os minerais acessórios, são encontrados apatita, allanita, titanita, zircão, epidoto, granada, magnetita e ilmenita. Utilizando-se o par anfibólio-plagioclásio foi obtida temperatura variando de 700 a 750 °C para o equilíbrio dessas fases. A estimativa de pressão foi realizada utilizando Al em cristais de anfibólio, tendo como resultado valores próximos a 6,0 Kbar para cristalização do anfibólio. A combinação dessa temperatura e pressão obtidas indica uma profundidade de 18 Km para o posicionamento e cristalização do protólito do Ortognaisse Estrela, apontando um gradiente geotérmico de 41 °C/km. O par magnetita-ilmenita forneceu temperatura média de 600°C e fugacidade de oxigênio de -16,3 unidades log, evidenciando condições oxidantes para o (re)equilíbrio desses opacos.

Palavras-chave: Faixa Araçuaí; Ortognaisse; Petrografia; Química mineral; Geotermobarometria.

ABSTRACT

PEREIRA, Victor Huggo. **Petrographic and mineral chemical characterization of Estrela Orthogneiss and associated lithotypes, in Estrela do Norte district, Espírito Santo.** 2020, 104f. Final Course Work (Geology) - Department of Geology, Institute of Geosciences, Federal University of Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

The studied region is located in the South of Espírito Santo in the district of Estrela do Norte, municipality of Castelo. It is geologically inserted in the Araçuaí belt, which records several episodes of magmatism in the Neoproterozoic - Cambrian boundary, related to the Brasiliano – Pan-African event, being subdivided into five supersuites, and the Estrela Orthogneiss (focus of the work) is interpreted as a member of the G1 supersuite. In addition, five other lithotypes were identified in the area; Leucogranite, Paragneiss Titanite granite, Granite Alto Chapéu and Diorite Alto Chapéu. The main objective of this work is the delimitation, petrographic characterization, mineral chemistry and geothermobarometric of Estrela Orthogneiss. In lamina, the orthogneiss has a composition ranging from granodiorite to tonalite, porphyritic to locally equigranular texture and shows localized features of partial melt, presenting as essential minerals; plagioclase, quartz, biotite, hornblende and sometimes K-feldspar. Leucogranite is equigranular, locally porphyritic, and has a composition of sienogranite, with accessory biotite and hornblende, and may be a partial melt product of orthogneiss. The mineral chemistry of the Estrela Orthogneiss indicates that amphibole crystals are characterized as pargasite in the core and Mg-hornblende in the edges. Biotite has a slight Fe enrichment tendency (~ 0.6 apfu). K-feldspars has an average composition of $\text{Or}_{92,2}\text{Ab}_{7,6}\text{An}_{0,2}$, and plagioclase has an composition $\text{An}_{39,2}\text{Ab}_{60,6}\text{Or}_{0,2}$. Among the accessory minerals are found apatite, allanite, titanite, zircon, epidote, garnet, magnetite and ilmenite. Using the amphibole-plagioclase pair, temperatures ranging from 700 to 750 ° C were obtained for the equilibrium of these phases. Pressure estimation was performed using Al in amphibole crystals, resulting in values close to 6.0 Kbar for amphibole crystallization. The combination of this obtained temperature and pressure indicates a depth of 18 km for the positioning and crystallization of the Orthogneiss Estrela protolith, indicating a geothermal gradient of 41 ° C / km. The magnetite-ilmenite pair provided an average temperature of 600 ° C and oxygen fugacity of -16.3 log units, evidencing oxidizing conditions for the (re)equilibrium of these opaque.

Keywords: Araçuaí belt; Orthogneiss; Petrography; Mineral chemistry; Geothermobarometry.

Lista de Figuras

Figura 1: Localização das cidades e distritos que delimitam a área de mapeamento (Modificado de Google Earth, 2019).....	2
Figura 2: Mapa de acesso a Estrela do norte - ES a partir do Rio de Janeiro – RJ (Modificado de Google Maps, 2019)	3
Figura 3: Diagrama QAP (Streckeisen, 1976).....	5
Figura 4: Microscópio petrográfico de luz transmitida, modelo <i>Nikon</i> eclipse E200	8
Figura 5: Contador de pontos automático <i>swift model F</i>	10
Figura 6: Microscópio petrográfico binocular de luz transmitida e refletida, modelo <i>Axioplan Zeiss</i> , acoplado a uma câmera do modelo <i>Zeiss AxioCam ICc3</i>	10
Figura 7: Lupa, modelo <i>Zeiss</i> , acoplada a câmera modelo <i>Zeiss AxioCam ICc5</i>	11
Figura 8: Evaporador de carbono (Modelo JEOL JXA-8230)	13
Figura 9: Microsonda (Modelo JEOL JXA-8230).....	14
Figura 10: Localização do orógeno Araçuaí-Congo Ocidental e dos crátons São Francisco e do Congo (Modificado de Alkmim <i>et al.</i> , 2006)	15
Figura 11: Mapa geológico simplificado de parte da faixa Araçuaí (Modificado de De Campos <i>et al.</i> , 2016).....	17
Figura 12: Seção geológica e perfil Bouguer cruzando a faixa Araçuaí no ES (Modificado de Haralayi and Hasui, 1982)	18
Figura 13: Mapa geológico da área estudada	22
Figura 14: A - Paragnaisse leucocrático com foliação marcada pela biotita (Ponto ES-237). B – Paragnaisse apresentando dobras fechadas, marcadas em vermelho (Ponto ES-235)	23
Figura 15: Contato brusco entre o Paragnaisse e o Ortognaisse Estrela (Ponto ES-237)	24
Figura 16: Geomorfologia da área estudada e a tipologia mais comum dos afloramentos do Ortognaisse Estrela	25
Figura 17: Blocos do Ortognaisse Estrela, evidenciando seu índice de cor (Ponto ES-48)....	26
Figura 18: Fenocristais de feldspato do Ortognaisse Estrela apresentando formato tabular e augen (Ponto ES-80).....	26
Figura 19: Amostra do Ortognaisse Estrela com textura equigranular (Ponto ES-58)	27
Figura 20: Bloco do Ortognaisse Estrela com foliação de fluxo preservada e foliação tectônica (Ponto ES-233)	27
Figura 21: Foliação dobrada, marcada pelos fenocristais de feldspato (Ponto ES-217)	28
Figura 22: Estruturas migmatíticas do Ortognaisse Estrela. A – Estrutura estromática (Ponto ES-277), B – Estrutura schlieren (Ponto ES-277), C – Estrutura Schöllén (Ponto ES-58), D - Dobras ptigmáticas (Ponto ES-276)	29
Figura 23: Zona de cisalhamento dúctil em bloco do Ortognaisse Estrela (Ponto ES-244) ...	29

Figura 24: Estruturas migmatíticas do Ortognaisse Estrela. A – Paleossoma, leucossoma e fase residual (Ponto ES-276), B – Fase residual e leucossoma (Ponto ES-50). C – É possível identificar com muita clareza as três porções do migmatito.	30
Figura 25: Corpos que cortam o Ortognaisse Estrela. A – Lajedo de Ortognaisse Estrela cortado por veio pegmatítico (Ponto ES-51), B – Bloco do Ortognaisse Estrela cortado por um veio de quartzo (Ponto ES-171), C – Três gerações de veios de quartzo que além de cortarem o Ortognaisse Estrela possuem relações de corte entre si (Ponto ES-161)	31
Figura 26: Enclaves de diorito no Ortognaisse Estrela. A – Bloco com enclaves de diorito no Ortognaisse Estrela (Ponto ES-59), B – Feições em afloramento do Ortognaisse Estrela geradas por enclaves no (Ponto ES-58)	31
Figura 27: Ortognaisse Estrela com presença de granada, associada a assimilação do paragnaisse (Ponto ES-237).....	32
Figura 28: Lajedo cortado em pedraira mostrando a relação entre o Leucogranito e o Ortognaisse Estrela falhado (Ponto ES-04)	33
Figura 29: Bloco do Leucogranito equigranular em pedraira com diversos cristais de allanita (Ponto ES-04)	33
Figura 30: Bloco do Leucogranito em pedraira com enclave falhado do Ortognaisse Estrela (Ponto ES-04)	34
Figura 31: Diques de Titanita-Granito fazendo contato retilíneo com o Ortognaisse Estrela. A – Ponto ES-161, B – Ponto ES-221, C – Ponto ES-217.....	34
Figura 32: Granito Alto Chapéu com fenocristais de K-feldspato (Ponto ES-96)	35
Figura 33: Variação faciológica do Granito Alto Chapéu com 80% de fenocristais de K-feldspato (Ponto ES-259)	36
Figura 34: Enclave de granito equigranular fino no Granito Alto Chapéu (Ponto ES-257) ...	36
Figura 35: Amostra de mão do Diorito Alto-chapéu evidenciado seu alto índice de cor (Ponto ES-020).....	37
Figura 36: Fotomicrografia do Ortognaisse Estrela, com objetivo de evidenciar uma porção de um fenocristal de plagioclásio	39
Figura 37: Fotomicrografias da porção migmatizada do Ortognaisse Estrela. (A) Minerais máficos, principalmente a biotita, marcando a foliação da rocha. (B) Fenocristais de plagioclásio, marcando a foliação	39
Figura 38: Fotomicrografia com objetivo de mostrar o mineral opaco circundado por titanita pós-magmática.....	40
Figura 39: Fotomicrografia de um fenocristal euédrico de plagioclásio do Ortognaisse Estrela	41
Figura 40: Fotomicrografia do Ortognaisse Estrela exemplificado algumas das alterações dos cristais de plagioclásio. (A) Cristal de plagioclásio alterando para caulinita. (B) Epidoto formado por saussuritização	41
Figura 41: Fotomicrografia de cristais de microclina apresentando geminação tartan e textura mirmequitica.....	42

Figura 42: Fotomicrografia da porção migmatizada do Ortognaisse Estrela exibindo leucossoma com feições de recristalização dos cristais de quartzo. (A) Bolsão de quartzo a LPP, (B) Bolsão de quartzo recristalizado a LPC	42
Figura 43: Fotomicrografia de agregado máfico contendo cristais de biotita e hornblenda ...	43
Figura 44: Fotomicrografia exibindo cristais de titanita primários com hábito prismático bem preservado.....	44
Figura 45: Fotomicrografia de cristais de allanita. (A) Cristal de allanita zonado, causando faturamento nos cristais vizinhos, vista em LPC. (B) Cristal de allanita circundado por epidoto em um agregado máfico	44
Figura 46: Fotomicrografia destacando um cristal de zircão, incluso no plagioclásio	45
Figura 47: Fotomicrografias do Ortognaisse Estrela apresentando minerais opacos com textura esquelética associados a titanita	46
Figura 48: Diagrama QAP apresentando a classificação composicional do Ortognaisse Estrela (Streckeisen, 1976)	46
Figura 49: Fotomicrografia do Leucogranito em LPC expondo a textura da rocha (inequigranular porfirítica), com fenocristais de microclina, além da alteração da microclina para mica branca.....	48
Figura 50: Fotomicrografia do Leucogranito em LPC apresentando textura mirmequítica ao centro da figura. Além de evidenciar a alteração da microclina para mica branca	49
Figura 51: Diagrama QAP apresentando a classificação composicional do Leucogranito (Streckeisen, 1976)	51
Figura 52: Fotomicrografia do titanita-granito em LPC com detalhe para o fenocristal de microclina com inclusão de biotita.	52
Figura 53: Fotomicrografia do titanita-granito em LPC apresentando textura mirmequítica, e inclusão de zircão na microclina, além de cristais de feldspato alterados para sericita e caulinita	53
Figura 54: Fotomicrografia do titanita-granito em LPC exibindo cristais de quartzo com hábito granular e feldspatos alterados para caulinita.....	53
Figura 55: Fotomicrografia do titanita-granito em LPP mostrando cristais de titanita bem formados e outros anédricos	54
Figura 56: Diagrama QAP apresentando a classificação composicional do Titanita-granito, (Streckeisen, 1976)	55
Figura 57: Fotomicrografias do aspecto geral do Diorito Alto chapéu. A – Aspecto geral da rocha visualizado em LPP. B – Aspecto geral da rocha visualizado em LPC	56
Figura 58: Diagrama QAP apresentando a classificação composicional do Diorito Alto Chapéu (Streckeisen, 1976)	58
Figura 59: Diagrama classificatório de anfibólios cálcicos do Ortognaisse Estrela (Hawthorne <i>et al.</i> , 2012).....	60
Figura 60: Diagrama classificatório do núcleo dos cristais de anfibólio cálcico do Ortognaisse Estrela (Hawthorne <i>et al.</i> , 2012).....	61

Figura 61: Diagrama classificatório da borda dos cristais de anfibólio cálcico do Ortognaisse Estrela (Hawthorne <i>et al.</i> , 2012).....	61
Figura 62: Gráfico Al^{IV} x Al^{VI} das análises de núcleo e borda dos cristais de anfibólio	62
Figura 63: Diagrama classificatório (Hawthorne <i>et al.</i> , 2012) de um perfil realizado na amostra ES03 – C9 em um cristal de anfibólio cálcico do Ortognaisse Estrela	63
Figura 64: Diagrama classificatório (Hawthorne <i>et al.</i> , 2012) de um perfil realizado na amostra ES05 – C1 em um cristal de anfibólio cálcico do Ortognaisse Estrela	63
Figura 65: Diagrama que discrimina campos de fugacidade de oxigênio com base nos dados da química mineral dos cristais de anfibólio (Anderson e Smith, 1995).....	64
Figura 66: Diagrama classificatório da biotita, contendo análises de núcleo e borda dos cristais estudados, pertencentes ao Ortognaisse Estrela (Deer <i>et al.</i> , 1992).....	66
Figura 67: Diagrama classificatório da biotita, para o perfil ES06–C2 (Deer <i>et al.</i> , 1992)....	67
Figura 68: Diagrama classificatório da biotita, para o perfil ES06–C10 (Deer <i>et al.</i> , 1992)..	67
Figura 69: Gráfico Al total por Mg (Nachit <i>et al.</i> , 1985) evidenciando o caráter cálcio-alcálico do Ortognaisse Estrela	68
Figura 70: Gráfico FeO x MgO (Abdel-Rahman, 1994), reforçando o caráter cálcio-alcálico do Ortognaisse Estrela	69
Figura 71: Perfil composicional com base na variação dos elementos químicos do cristal de epidoto do Ortognaisse Estrela.....	72
Figura 72: Diagrama ternário Ab-An-Or para classificação de cristais de K-feldspatos (Deer <i>et al.</i> , 1992).....	73
Figura 73: Diagrama ternário Ab-An-Or para classificação de feldspatos (Deer <i>et al.</i> , 1992). Classificação dos cristais de plagioclásio do Ortognaisse Estrela utilizando análises de núcleo e borda.....	75
Figura 74: Diagrama ternário Ab-An-Or para classificação de feldspatos (Deer <i>et al.</i> , 1992). Classificação dos cristais de plagioclásio do Ortognaisse Estrela utilizando o perfil ES03 - C3	76
Figura 75: Diagrama ternário Ab-An-Or para classificação de feldspatos (Deer <i>et al.</i> , 1992). Classificação dos cristais de plagioclásio do Ortognaisse Estrela utilizando o perfil ES05 - C8	76
Figura 76: Diagrama de condições oxirredutoras dos minerais opacos (Wallace e Carmichael, 1994) presentes no Ortognaisse Estrela.....	83
Figura 77: Bloco do Ortognaisse Estrela evidenciando o mecanismo de filter pressing (Ponto ES-225).....	85

Lista de Tabelas

Tabela 1 – Classificação textural de rochas ígneas (Williams <i>et al.</i> , 1970).....	4
Tabela 2 – Granulação da rocha com base na dimensão dos cristais (Williams <i>et al.</i> , 1970)....	4
Tabela 3 – Classificação do índice de cor para rochas ígneas (Le Maitre, 2002)	4
Tabela 4 – Classificação do grau de desenvolvimento dos cristais (Williams <i>et al.</i> , 1970).....	5
Tabela 5 – Classificação do grau de cristalinidade das rochas (Williams <i>et al.</i> , 1970).....	5
Tabela 6 - Abreviações dos minerais utilizadas no trabalho (Whitney & Evans, 2010).....	6
Tabela 7 – Roteiro de descrição das lâminas petrográficas	9
Tabela 8 – Listagem das lâminas petrográficas da área de estudo com o respectivo tipo litológico	12
Tabela 9 – Tabela de porcentagem modal do Ortognaisse Estrela	47
Tabela 10 – Tabela de porcentagem modal do Leucogranito	51
Tabela 11 – Tabela de porcentagem modal do Titanita-granito	56
Tabela 12 – Tabela de porcentagem modal do Diorito Alto Chapéu	58
Tabela 13 – Análises representativas e suas devidas fórmulas estruturais dos cristais de anfibólio do Ortognaisse Estrela	65
Tabela 14 – Análises representativas e suas devidas fórmulas estruturais dos cristais de biotita do Ortognaisse Estrela	70
Tabela 15 – Razão de pistacita e classificação dos cristais de epidoto	71
Tabela 16 – Análises representativas e suas devidas fórmulas estruturais dos cristais de epidoto do Ortognaisse Estrela	72
Tabela 17 – Análises representativas e suas devidas fórmulas estruturais dos cristais de K-feldspato do Ortognaisse Estrela	74
Tabela 18 – Análises representativas e suas devidas fórmulas estruturais dos cristais de plagioclásio do Ortognaisse Estrela.....	77
Tabela 19 – Análises e suas devidas fórmulas estruturais dos cristais de ilmenita do Ortognaisse Estrela	79
Tabela 20 – Análises e suas devidas fórmulas estruturais dos cristais de magnetita do Ortognaisse Estrela	80
Tabela 21 - Amostras do Ortognaisse Estrela analisadas no AX com valores de pressão obtidos por meio do método de Schmidt (1992) e temperaturas calculadas a partir do valor de pressão obtido	82
Tabela 22 - Resultados de temperatura de equilíbrio e fugacidade de oxigênio dos minerais opacos utilizando o <i>software</i> Quilf.....	83

Sumário

Agradecimentos	vi
Resumo	vii
<i>Abstract</i>	viii
Lista de figuras	ix
Lista de tabelas	xiii
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Objetivos	1
1.2. Localização e acesso	1
2. NOMENCLATURA ADOTADA PARA A CLASSIFICAÇÃO DOS LITOTIPOS	4
3. METODOLOGIA	7
3.1. Etapas pré-campo	7
3.2. Etapas de campo	7
3.3. Etapas de laboratório.....	8
3.3.1. Petrografia	8
3.3.2. Química mineral.....	13
4. CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL.....	15
5. GEOLOGIA DA ÁREA ESTUDADA	22
5.1. Descrição dos litotipos mapeados	23
5.1.1. Paragnaisse	23
5.1.2. Ortognaisse Estrela.....	24
5.1.3. Leucogranito	32
5.1.4. Titanita granito	34
5.1.5. Granito Alto Chapéu	35
5.1.6. Diorito Alto Chapéu	37
6. PETROGRAFIA.....	38
6.1. Ortognaisse Estrela	38
6.2. Leucogranito	47
6.3. Titanita granito	51
6.4. Diorito Alto Chapéu.....	56
7. QUÍMICA MINERAL	59
7.1. Anfibólio	59
7.1.1. Fugacidade de oxigênio.....	64
7.2. Biotita.....	66

7.2.1. Filiação magmática	68
7.3. Epidoto	71
7.4. Feldspato potássico	73
7.5. Plagioclásio	74
7.6. Opacos.....	78
8. GEOTERMOBAROMETRIA.....	81
8.1. Resultados	81
8.1.1. Plagioclásio e anfibólio	81
8.1.2. Ilmenita e magnetita.....	82
9. DISCUSSÃO E CONCLUSÃO	84
9.1. Geologia da área estudada	84
9.2. Petrografia.....	86
9.3. Química mineral do Ortognaisse Estrela	87
9.4. Geotermobarometria	88
10. Referências bibliográficas	90
Apêndice A – Tabela de pontos.....	95
Anexo A – Mapa geológico.....	102
Anexo B – Mapa de pontos	103
Anexo C – Seção geológica.....	104

1. INTRODUÇÃO

O Ortognaisse Estrela situa-se no contexto tectônico da porção sul da Faixa Móvel Neoproterozoica Araçuaí, próximo ao limite com a Faixa Ribeira. Nas imediações do distrito de Estrela do Norte, município de Castelo, sul do Espírito Santo, rochas representantes deste litotipo ocorrem associadas principalmente a outros litotipos de origem ígnea, e é o principal foco desse estudo. Este corpo metaígneo tem dimensão batolítica e tem sido considerado como um representante da Supersuíte G1, pré-colisional, do Orógeno Araçuaí (Pedrosa Soares *et al.*, 2001, 2011). São raros os estudos anteriores detalhando a geologia do Ortognaisse Estrela, realçando a relevância de pesquisas abrangentes, desde mapeamento de detalhe a dados químicos e isotópicos, para um real entendimento do papel desse corpo metaígneo batolítico na evolução geológica dessa porção do orógeno.

Na área de estudo foram identificados seis litotipos, dentre eles o Ortognaisse Estrela, de ampla predominância na área, e o Leucogranito, que são apresentados em nível de detalhe nesta monografia. Os resultados abrangem mapa na escala 1:25.000 e descrição dos seus litotipos, acompanhado de estudos petrográficos e de química mineral do Ortognaisse Estrela, que levou à obtenção de dados referentes à filiação magmática e parâmetros intensivos (P, T, fO₂) desse expressivo corpo metaígneo.

1.1. Objetivos

Este trabalho tem como principais objetivos a caracterização petrográfica e de química mineral do Ortognaisse Estrela, localizado no distrito de Estrela do Norte, na porção sul do Espírito Santo. Para que tais objetivos fossem alcançados, previamente foram cumpridas as etapas de escritório e trabalho de campo que possibilitaram a coleta das amostras para o estudo aqui apresentado. Numa visão regional, esta monografia objetiva contribuir para o aprimoramento do conhecimento geológico dos litotipos considerados como pertencentes ao estágio pré-colisional da Faixa Araçuaí (Supersuíte G1).

1.2. Localização e acesso

A área de estudo está localizada na porção sul do estado do Espírito Santo, entre os distritos de Estrela do Norte, pertencente ao município de Castelo e o distrito de Burarama que pertence ao município de Cachoeiro de Itapemirim, sendo também delimitada a leste pela cidade de Castelo e a oeste pelo distrito de Anutiba, que faz parte do município de Alegre, como

pode ser observado na figura 1. A área de mapeamento compreende cerca de 120 km², ocupando praticamente toda a folha topográfica Anutiba, obtida no do site do IBGE na escala de 1:50.000, a qual limita-se as seguintes coordenadas no Datum WGS84 e projeção UTM, zona 24S: 252000 a 264000 (E) e 7716000 a 7728000 (N).



Figura 1: Localização das cidades e distritos que delimitam a área de mapeamento, que está situada dentro do retângulo vermelho. Fonte: Modificado de Google Earth (2019).

Para acessar a região de estudo a partir da UFRJ no Rio de Janeiro (RJ) é necessário percorrer 475 km sendo considerado o local da partida, o prédio do Centro de Ciências Matemáticas e da Natureza (CCMN), e o ponto de chegada o distrito de Estrela do Norte, localizado no município de Castelo (ES). Sendo o percurso mais rápido, através das rodovias BR-116, BR-393, BR-484 e BR-482, seguidas das estradas estaduais ES-166 e ES-491, como pode ser visto na figura 2. Há também outras possibilidades através da BR-101 ou da BR-040.

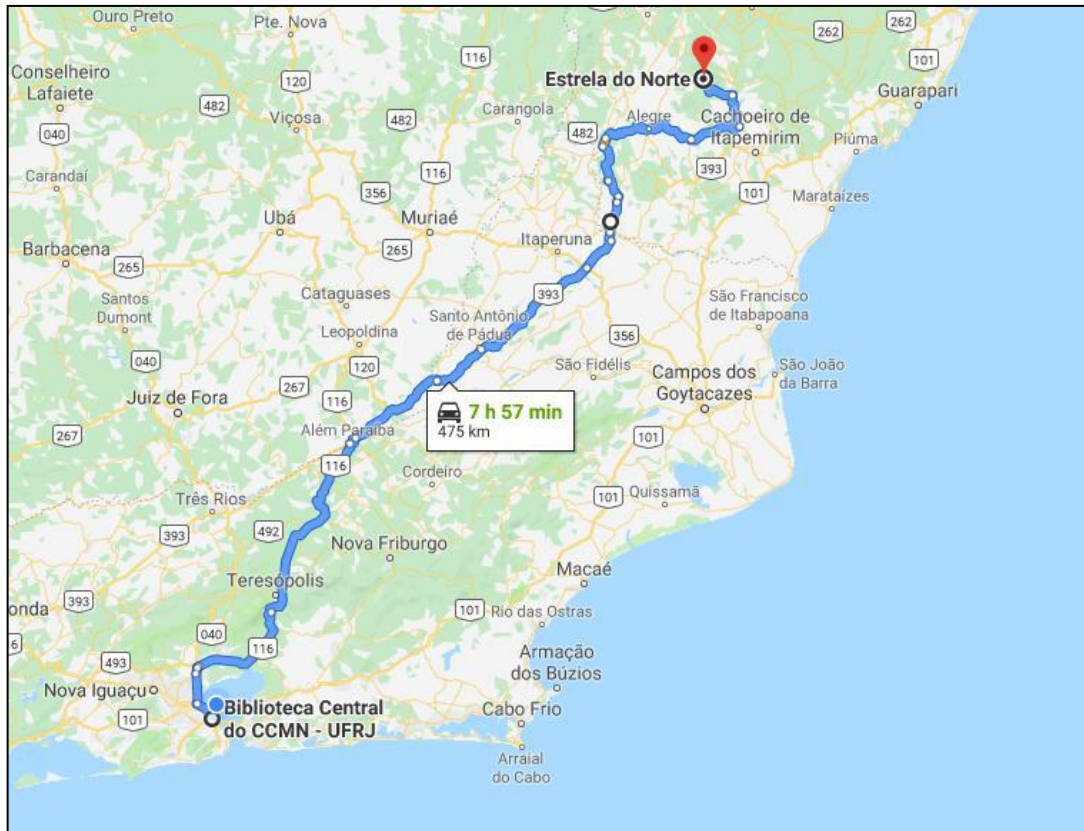


Figura 2: Mapa de acesso a Estrela do Norte - ES a partir do Rio de Janeiro - RJ. Rota mais rápida destacada de azul. Fonte: Modificado de Google Maps (2019).

2. NOMENCLATURA ADOTADA PARA CLASSIFICAÇÃO DOS LITOTIPOS

Para classificar os litotipos presentes na área de estudo foram utilizadas uma série de classificações propostas anteriormente, sendo que, a de texturas (Tabela 1) e de granulação (Tabela 2) segue a proposta sugerida por Williams *et al.* (1970), enquanto que a utilizada para classificar o índice de cor (Tabela 3), segue a proposta de convenções da IUGS (Le Maitre, 2002), a qual baseia-se na porcentagem de minerais máficos para estabelecer tal classificação.

Tabela 1 – Classificação textural de rochas ígneas por Williams *et al.* (1970).

Textura		Descrição
Afanítica		Envolve minerais que não são reconhecíveis a olho nu ou com auxílio de lupa de 10x.
Fanerítica		Envolve minerais que são reconhecíveis a olho nu ou com lupa de 10x.
	Equigranular	Minerais apresentam-se com tamanho semelhante.
	Porfírica	Grãos maiores (fenocristais) envolvidos por uma matriz menor.
	Seriada	Apresenta cristais com ampla variação de tamanho.

Tabela 2 – Granulação da rocha com base na dimensão dos cristais, conforme Williams *et al.* (1970).

Granulação	Tamanho dos cristais
Fina	<1mm
Média	1 a 5 mm
Grossa	5 mm a 3 cm
Muito grossa	> 3cm

Tabela 3 – Classificação do índice de cor para rochas ígneas, conforme Le Maitre (2002).

Índice de cor	% de minerais máficos
Hololeucocrática	0 - 10 %
Leucocrática	10 - 35 %
Mesocrática	35 - 65 %
Melanocrática	65 - 90 %
Holomelanocrática	90 - 100 %

Outras classificações utilizadas com base nas propostas de Williams *et al.* (1970) foram relativas ao grau de desenvolvimento dos grãos (Tabela 4) e ao grau de cristalinidade da rocha (Tabela 5).

Tabela 4 – Classificação do grau de desenvolvimento dos cristais, conforme Williams *et al.* (1970).

Grau de desenvolvimento dos cristais	Descrição
Euédricos ou Idiomórficos	Grãos completamente limitados por faces de um cristal.
Subédricos ou Hipidiomórficos	Grãos parcialmente limitados por faces de um cristal.
Anédricos ou Xenomórficos	Grãos desprovidos de faces.

Tabela 5 – Classificação do grau de cristalinidade das rochas, conforme Williams *et al.* (1970).

Grau de cristalinidade	Descrição
Holocristalinas	Rochas compostas inteiramente por cristais.
Holoialinas	Rochas compostas inteiramente por vidro.
Hipocristalinas	Rochas compostas por cristais e vidro.

Além disso, outros conceitos utilizados no presente trabalho foram alguns prefixos, como os prefixos “orto” e “para”, os quais, respectivamente, são utilizados para denominar rochas metamórficas com protólito ígneo e rochas metamórficas com protólito sedimentar.

A classificação das rochas estudadas neste trabalho foi através do diagrama ternário QAP (Figura 3), proposto por Streckeisen (1976).

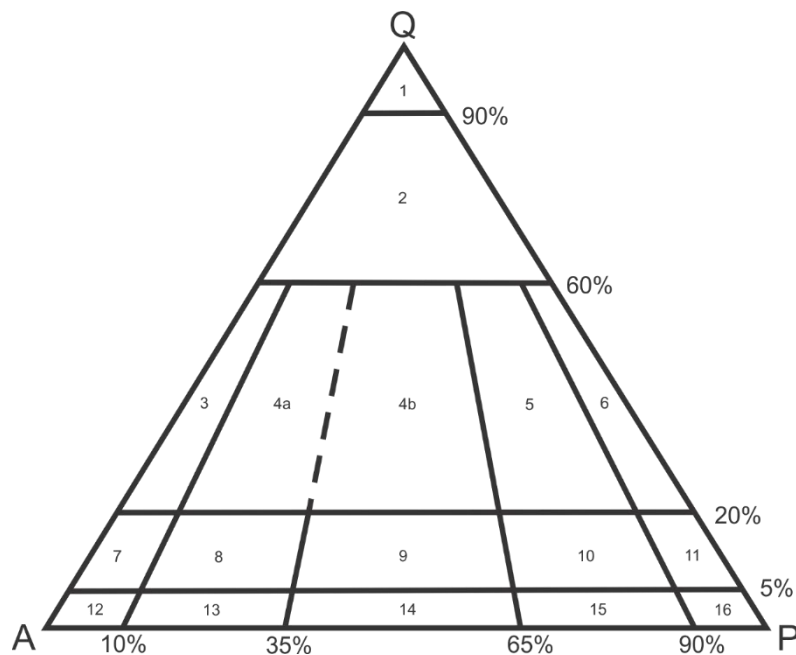


Figura 3: Diagrama QAP (Streckeisen, 1976). Q – Quartzo; A – Alkali feldspato; P – Plagioclásio. 1 – Quartzolito; 2 - Granitoide rico em quartzo; 3 - Alkali-feldspato granito; 4a - Sienogranito. 4b – Monzogranito; 5 – Granodiorito; 6 – Tonalito/trondhjemitó; 7 - Alkali-feldspato quartzo sienito; 8 – Quartzo sienito; 9 – Quartzo monzonito; 10 – Quartzo monzodiorito/quartzo monzogabro; 11 – Quartzo diorito/quartzo gabro; 12 – Alkali feldspato sienito; 13 – Sienito; 14 – Monzonito; 15 – Monzodiorito/monzogabro; 16 – Diorito/gabro/anortosito.

É importante salientar também que nesse trabalho foi utilizada a proposição de Whitney & Evans (2010) para as abreviações dos minerais, como pode ser visto na Tabela 6.

Tabela 6 - Abreviações dos minerais utilizadas no trabalho, conforme Whitney & Evans (2010).

Ab	Albita	Czo	Clinozoisita	Mc	Microclina
Act	Actinolita	Di	Diopsídio	Or	Ortoclásio
Aln	Allanita	En	Enstatita	Pl	Plagioclásio
Amp	Anfibólio	Ep	Epidoto	Prp	Piropo
Ap	Apatita	Fs	Ferrosilita	Py	Pirita
Ath	Antofilita	Grt	Granada	Qtz	Quartzo
Bn	Bornita	Grs	Grossulária	Tlc	Talco
Brt	Barita	Hbl	Hornlenda	Ttn	Titanita
Bt	Biotita	Hd	Hedenbergita	Ts	Tschermakita
Cb	Carbonato	Hem	Hematita	Wo	Wollastonita
Ccp	Calcopirita	Ilm	Ilmenita	Zo	Zoisita
Chl	Clorita	Lm	Limonita	Zrn	Zircão

3. METODOLOGIA

O trabalho foi desenvolvido em três etapas, sendo elas: etapa pré-campo, etapa de campo e etapa de laboratório.

3.1. Etapa pré-campo

Durante a etapa pré-campo foram realizadas pesquisas bibliográficas envolvendo artigos que abordam o contexto geológico regional em que área de estudo desse trabalho se encontra inserida, a fim de obter um conhecimento prévio sobre os litotipos que afloram na região e dos episódios tectônicos responsáveis pelo atual cenário geotectônico.

Também foi realizada a edição do mapa topográfico em escala de 1:25.000, utilizando a folha topográfica Anutiba 1:50.000, a qual foi adquirida por meio do banco de dados do IBGE sob a forma vetorizada, e esses arquivos foram trabalhados no *software* ArcGis® v.10.5 para se obter a escala desejada de mapeamento desejada e também para aprimorar o dado, georreferenciando, inserindo a *grid*, norte, escala e outras informações fundamentais para o uso do mapa em campo e em escritório.

Além do mapa topográfico, foi confeccionado também um mapa de satélite da área de estudo, o qual é de grande importância para localização em campo e para interpretação de feições geológicas em macro-escala. A imagem de satélite georreferenciada foi adquirida através do *software* Terra Incógnita utilizando o Satélite do Bing com pixel de dois metros. Tal imagem foi trabalhada no ArcGis® v.10.5 para confeccionar o mapa final.

3.2. Etapa de campo

A etapa de campo consistiu em cinco expedições para a região de estudo junto com outros três alunos de graduação, Matheus de Queiroz Toscano Carvalho, Sara Mendes Guilherme e Vinicius da Silva Alvarenga Coelho. A área mapeada possui cerca de 150 Km² (Anexo A – Mapa geológico) e totalizou 284 pontos geológicos (Anexo B – Mapa de pontos). Para aquisição dos dados de campo foram utilizados os seguintes equipamentos: GPS *Garmin e-trex* com o *datum* WGS 84, zona 24S, para obter as coordenadas dos pontos, Bússola *Brunton* O.S.S 70M declinada com 23°W, marreta, martelo petrográfico, lupa de 10 aumentos e imã. Além dos equipamentos foi feita a descrição dos litotipos encontrados em cada ponto, seguindo padrão determinado que consiste em: localização, tipo de ocorrência (afloramento ou blocos), dimensões, grau de cristalinidade, índice de cor, textura, mineralogia, granulação, estruturas,

tipo de contato, medidas estruturais, classificação da rocha além de fotografias e coleta de amostras de rocha quando essas eram propícias, ou seja, pouco intemperizadas.

3.3. Etapa de laboratório

3.3.1. Petrografia

As amostras coletadas em campo foram levadas para o Laboratório de Laminação do Departamento de Geologia na Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) para serem confeccionadas as lâminas petrográficas pelo técnico Tarcísio Raymundo Abreu. Tais amostras foram posteriormente descritas com auxílio de um microscópio petrográfico binocular de luz transmitida (Modelo *Nikon*® eclipse E200, Figura 4) do laboratório de microscopia da UFRJ seguindo um modelo de descrição apresentado na Tabela 7.



Figura 4: Microscópio petrográfico de luz transmitida, modelo *Nikon* eclipse E200.

Em seguida todas 36 lâminas foram levadas ao Laboratório de Microsonda Eletrônica (LABSONDA) para contagem modal a 800 pontos utilizando o contador automático *swift model F* (Figura 5), o que permitiu uma classificação mais precisa das rochas estudadas através do diagrama QAP (Streckeisen, 1976). Esse contador de pontos é conectado ao microscópio binocular de luz transmitida e refletida (Modelo *Axioplan Zeiss*, Figura 6) com câmera (Modelo *Zeiss AxioCam ICc3*) onde foram obtidas as fotomicrografias (Figura 6).

Além disso, com o intuito de obter fotomicrografias capazes de ter uma maior representatividade das rochas estudadas, foi utilizado um acessório acoplado a Lupa (Modelo *Zeiss*) com câmera (Modelo *Zeiss AxioCam ICc5*), como pode ser visto na figura 7. Possibilitando a realização fotos tanto em luz polarizada plana com em luz polarizada cruzada com um aumento menor do que o microscópio, assim permitindo visualizar o aspecto geral das rochas estudadas, as quais em sua grande maioria tratam-se de rochas porfíricas.

Tabela 7 – Roteiro de descrição das lâminas petrográficas

Ordem de descrição	Características descritas
1	Grau de cristalinidade
2	Índice de cor (% de minerais máficos)
3	Textura da rocha
4	Mineralogia da rocha - Minerais essenciais - Minerais acessórios - Minerais secundários
5	Descrição individual dos minerais
	A) Características ópticas a luz polarizada paralela
	B) Características ópticas a luz polarizada cruzada
	C) Características ópticas em observação conoscópica
	D) Morfologia do Cristal
	- Hábito
	- Grau de desenvolvimento
	- Dimensão
	- Contatos
	E) Tipos de intercrescimento
	F) Zoneamento
	G) Sobrecrescimento
	H) Inclusões
	I) Fraturamentos
	J) Ateração
6	K) Ordem de cristalização
7	L) Composição modal



Figura 5: Contador de pontos automático *swift model F*.

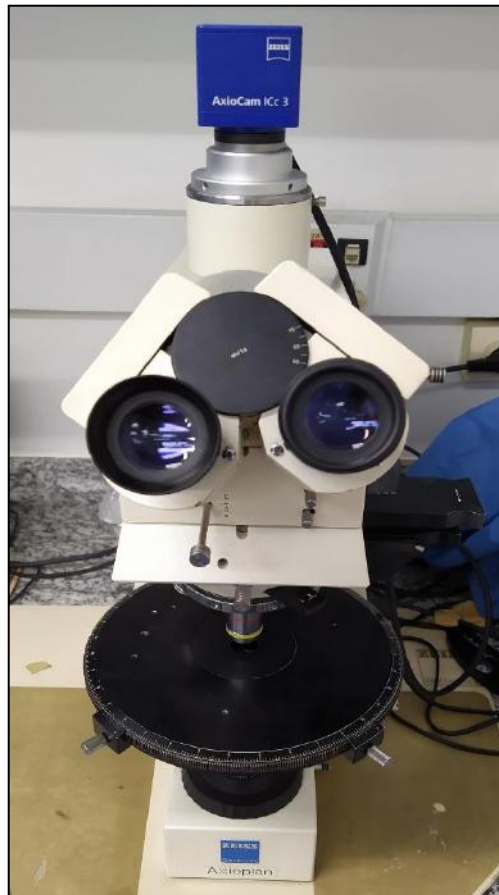


Figura 6: Microscópio petrográfico binocular de luz transmitida e refletida, modelo *Axioplan Zeiss*, acoplado a uma câmera do modelo *Zeiss AxioCam ICc3*.

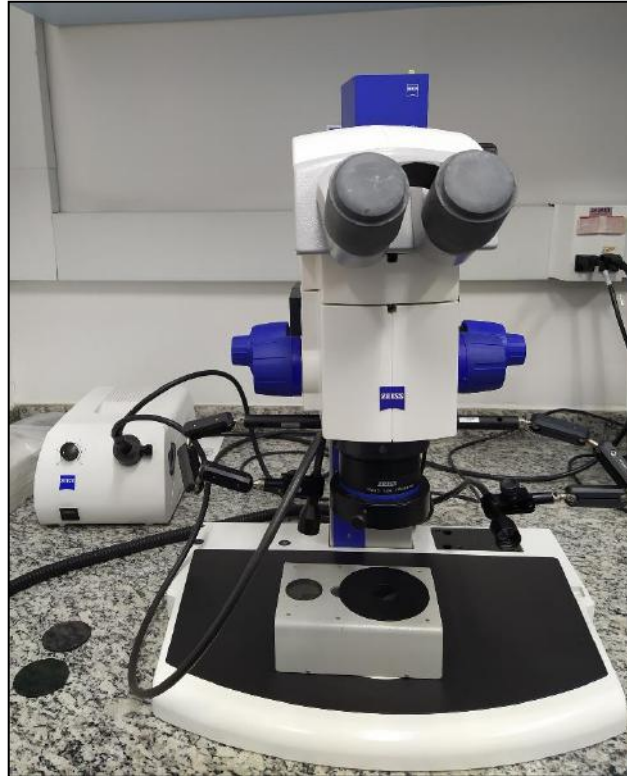


Figura 7: Lupa, modelo *Zeiss*, acoplada a câmera modelo *Zeiss AxioCam ICc5*.

Encontra-se na Tabela 8 a lista com todas lâminas que foram descritas e submetidas a análise modal no decorrer desse trabalho, com a identificação do ponto geológico e da litologia.

Tabela 8 – Listagem das lâminas petrográficas da área de estudo com o respectivo tipo litológico

Ponto/Sigla	Litologia
ES - 01	Ortognaisse Estrela
ES - 02	Ortognaisse Estrela
ES - 03	Ortognaisse Estrela
ES - 03GR	Leucogranito
ES - 03GH	Leucogranito
ES - 04	Leucogranito
ES - 05	Ortognaisse Estrela
ES - 06	Ortognaisse Estrela
ES - 07	Leucogranito
ES - 11	Ortognaisse Estrela
ES - 12	Ortognaisse Estrela
ES - 14A	Ortognaisse Estrela
ES-14B	Ortognaisse Estrela
ES - 15A	Ortognaisse Estrela
ES - 15B	Leucogranito
ES - 16	Ortognaisse Estrela
ES - 19A	Ortognaisse Estrela
ES - 19B	Ortognaisse Estrela
ES - 30E	Ortognaisse Estrela
ES - 33A	Ortognaisse Estrela
ES - 33B	Ortognaisse Estrela
ES - 48A	Ortognaisse Estrela
ES - 48B	Ortognaisse Estrela
ES - 49	Ortognaisse Estrela
ES - 53A	Ortognaisse Estrela
ES - 53B	Ortognaisse Estrela
ES - 93B	Ortognaisse Estrela
ES - 102	Titanita granito
ES - 118A	Diorito Alto Chapéu
ES - 137	Ortognaisse Estrela
ES - 138	Leucogranito
ES - 144C	Ortognaisse Estrela
ES - 178A	Ortognaisse Estrela
ES - 178B	Ortognaisse Estrela
ES - 201	Ortognaisse Estrela
ES - 230	Ortognaisse Estrela

3.3.2. Química mineral

A etapa consistiu na seleção de seis lâminas, as quais foram destinadas ao preparo e polimento pelo Laboratório de Laminação do Departamento de Geologia da UFRJ pelo técnico Tarcísio Raymundo Abreu.

Esta etapa se inicia com o mapeamento e seleção dos minerais e associações minerais alvos para análise na microsonda. Os minerais alvos deste trabalho são grãos de plagioclásio e hornblenda individualizados ou em contato entre si, biotita, K-feldspato, epidoto, titanita e minerais opacos. A seguir as lâminas com os alvos identificados foram metalizadas pelo evaporador de carbono (Modelo *JEOL JEE-420*, figura 8) pelas técnicas Amanda Tosi e Iara Ornellas, que orientaram nos procedimentos de análise dos minerais na microsonda (Modelo *JEOL JXA-8230*, figura 9), presente no LABSONDA, sendo identificados os minerais alvos para realização da análise de núcleo e borda, além da obtenção de perfis composicionais dos principais elementos presentes nos grãos. Por problemas técnicos do equipamento (defeito na bomba turbo molecular, responsável pelo vácuo), somente três lâminas polidas puderam ser analisadas.



Figura 8: Evaporador de carbono (Modelo *JEOL JXA-8230*) responsável por metalizar as lâminas antes de serem analisadas na microsonda.



Figura 9: Microsonda (*Modelo JEOL JXA-8230*) presente no Laboratório de Microsonda Eletrônica (LABSONDA), no departamento de geologia na UFRJ.

O procedimento analítico foi realizado sob as seguintes condições analíticas: voltagem de aceleração de 15 kV, corrente do feixe 20 mA e diâmetro do feixe de 1µm, e os resultados quantitativos foram obtidos por comparação com a análise de padrões internacionais certificados de minerais naturais.

A penúltima etapa foi o processamento e análise dos dados obtidos na microsonda, sendo esses inicialmente tratados com o objetivo de determinar as fórmulas estruturais e a classificação mineral dos grãos analisados. Dessa maneira, para calcular a fórmula estrutural e produzir os diagramas classificatórios foi utilizado o *software* MinPet (Richard, 1995) no caso dos seguintes minerais: plagioclásio, K-feldspato, biotita e epidoto. Já para o anfibólio foi utilizada a planilha Excel de classificação de anfibólios de Locock (2014), que permite a confecção de diagramas classificatórios. Após a obtenção dos diagramas eles foram vetorizados no *software* CorelDraw 2018. Em relação aos minerais opacos foi utilizado o *software* Quilf. v.6.42 (Andersen *et al.*, 1993) para o cálculo da fórmula estrutural.

A última etapa consistiu nos cálculos geotermobarométricos e de fugacidade de oxigênio utilizando as fórmulas estruturais obtidas no passo anterior e para isso foram utilizados os *softwares* Quilf, v. 6.42 (Andersen *et al.*, 1993) e AX, extensão Hb-Pl (Holland e Blundy, 1994). Já para o cálculo de pressão foi utilizada a equação barométrica de Al em hornblenda de Schmidt (1992).

4. CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

A faixa Araçuaí é um segmento do sistema orogênico Mantiqueira, que consiste em um dos três sistemas formados pelo evento Panafricano-Brasiliano que foram preservados no território brasileiro atual, e se estende por praticamente todo litoral da região sudeste e sul do Brasil, sendo constituída por quatro faixas móveis de norte a sul, denominadas respectivamente de, Araçuaí, Ribeira, Dom Feliciano e São Gabriel, além da zona de interferência entre a faixa Ribeira e a faixa Brasília (Heilbron *et al.*, 2004). A Faixa Araçuaí é localizada a leste no Brasil, e em conjunto com sua contraparte africana, o Cinturão Congo Ocidental, forma o orógeno Araçuaí-Congo Ocidental, o qual representa um ramo da rede orogênica Panafricana-Brasiliana formado durante a amalgamação do Gondwana ocidental ao final da Era Neoproterozoica (Trompette, 1994; Brito Neves *et al.*, 1999). No Brasil esse orógeno ocupa a região situada entre o Cráton São Francisco (CSF) e a margem continental atlântica (De Campos *et al.*, 2016), enquanto que sua contraparte africana está situada a oeste do Cráton do Congo, como pode ser observado na figura 10.

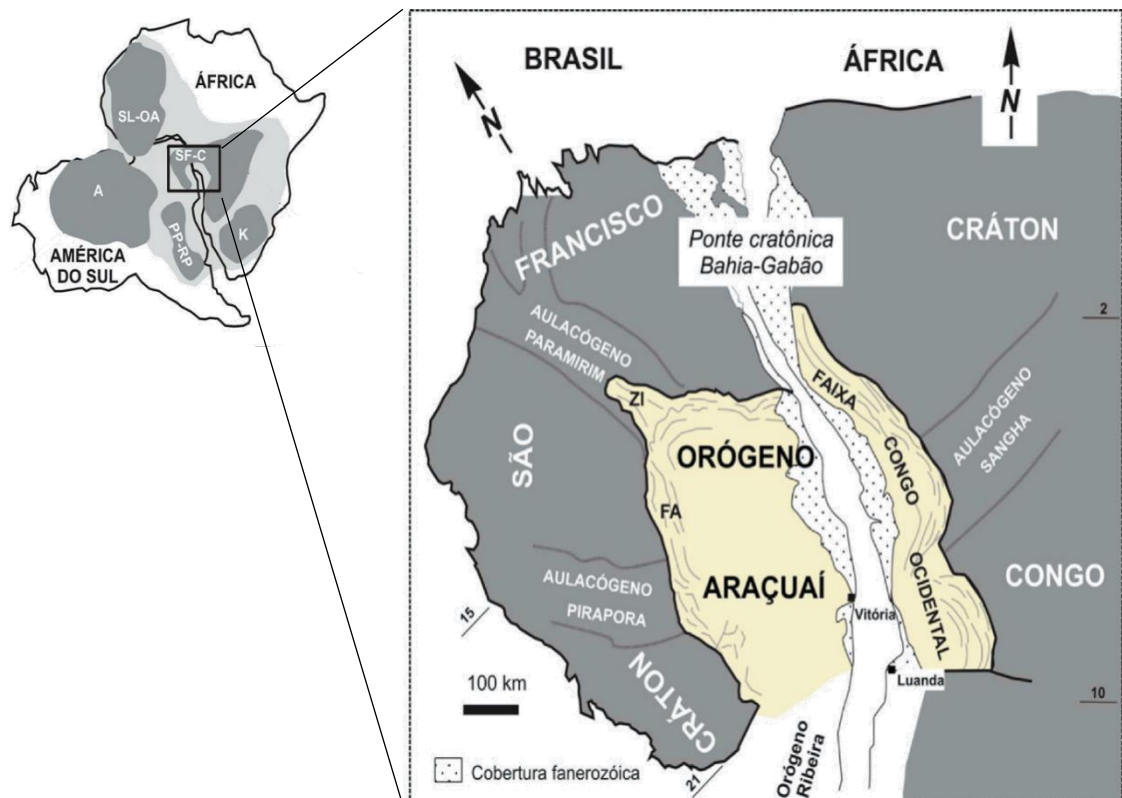


Figura 10: Localização do orógeno Araçuaí-Congo Ocidental e dos crátons São Francisco e do Congo. Fonte: Modificado de Alkmim *et al.*, 2006.

O Orógeno Araçuaí se desenvolveu através do fechamento de um golfo, parcialmente formado por crosta oceânica, conectado ao Oceano Adamastor (Pedrosa-Soares *et al.*, 1992, 1998, 2001, 2008; Cordani *et al.*, 2003; Alkmim *et al.*, 2006). Dessa forma, esse cenário peculiar, com a ocorrência de ofiolitos e um arco magmático pré-colisional, inspirou o conceito de orógeno confinado (Pedrosa Soares *et al.*, 2001), o qual consiste em um termo intermediário entre a típica margem continental ou orógenos intercratônicos e os orógenos intercontinentais ensiálicos ou aulacógenos invertidos (Rogers e Santosh, 2004). Porém, apesar desse ambiente confinado, o orógeno Araçuaí possui um arco magmático cálcio-alcálico bem desenvolvido, denominado arco Rio Doce (Figueiredo e Campos Neto, 1993; Nalini Jr. *et al.*, 2005; Pedrosa-Soares e Wiedemann-Leonardos, 2000; De Campos *et al.*, 2004, 2016; Martins *et al.*, 2004; Gonçalves *et al.*, 2010, 2014; Novo *et al.*, 2010; Pedrosa-Soares *et al.*, 2011).

O orógeno Araçuaí conecta-se a sul com a faixa Ribeira, formando o sistema orogênico Araçuaí-Ribeira, que junto das outras faixas panafricanas-brasilianas localizadas no sudeste e sul do Brasil, citadas anteriormente, e as do sudoeste da África (Cordani *et al.*, 2003), *Kaoko*, *Damara* e *Gariiep* (Wiedemann *et al.*, 2002) são produtos gerados pela amalgamação do Gondwana ocidental no fim do Neoproterozoico (Cordani *et al.*, 2003).

As faixas móveis Araçuaí e Ribeira se diferenciam pela inflexão do *trend* estrutural, pois ao longo da porção norte da faixa Araçuaí o *trend* segue uma direção N-S, enquanto que em seu limite sul sofre uma inflexão gradual de N para NNE transicionando para a faixa Ribeira (Wiedemann *et al.*, 2002). Sendo assim, essa inflexão, marcada tanto por anomalias magnéticas e gravitacionais (Tuller, 1993), como pelo *trend* estrutural (Pedrosa-Soares e Wiedemann-Leonardos, 2000), é responsável por delimitar a faixa Araçuaí com *trend* N-S a norte do paralelo 21°S enquanto a faixa Ribeira situa-se a sul do paralelo 21°S com *trend* NE-SW (Machado *et al.*, 1996), o que é visível na figura 11.

Uma das feições mais importantes do orógeno Araçuaí-Ribeira é o grande volume de diferentes rochas plutônicas geradas do início do Ediacarano até o limite Cambro-Ordoviciano. Ilustrando uma longa sucessão de eventos de produção de granitos (630 a 480 Ma), que representam junto de seus produtos metamórficos, gnaisses e granulitos, cerca de um terço do orógeno, o qual expõe desde níveis crustais rasos a profundos (De Campos *et al.*, 2016).

Durante essa sucessão de eventos de produção de granitos, o principal estágio colisional do orógeno Araçuaí-Congo Ocidental na porção brasileira se deu por volta de 600 a 580 Ma (Sm-Nd, Fischel, 1998; U-Pb, Sollner *et al.*, 2000).

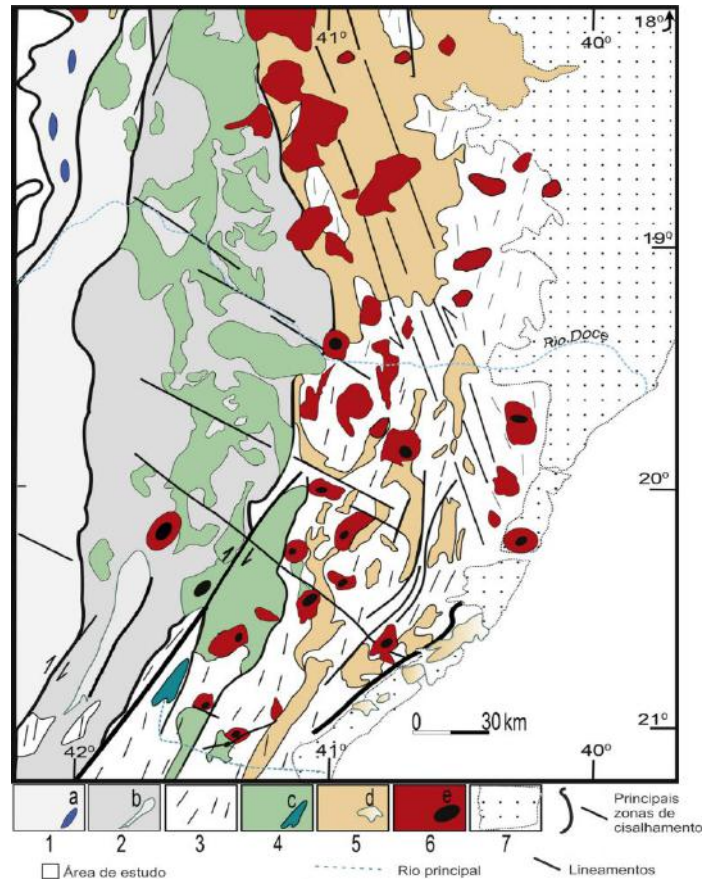


Figura 11: Mapa geológico simplificado de parte da faixa Araçuaí com o magmatismo pós-colisional (G5) marcado de vermelho. 1: Protólitos metassedimentares e metaígneos: Relacionados ao arco e ante-arco, das unidades acrescidas e das unidades do embasamento, indiferenciadas; 1a: Lascas de ofiolitos Criogeniano-Ediacariano; 2: Protólitos metavulcânicos e metassedimentares (relacionados ao arco) com poucas lascas do embasamento (G1); 2b: Granulitos de alta temperatura, principalmente metassedimentares (>10 kb; >850 °C) (G1); 3: Protólitos metassedimentares das bacias de *back*-arc (G1); 4: Protólitos metaígneos, relacionados ao arco G1 (630-585 Ma); 4c: Ortogneise Serra da Cangalha (c. 630 Ma; Mendes *et al.*, 2010) (G1); 5: Metassedimentos fundidos das bacias de *back*-arc; Supersuíte sin-colisional G2 metaígneia (c.585e575 Ma) e posterior supersuíte refundida G3 (c. 560-530 Ma); 5d: Granulitos de baixa pressão de sedimentos (Complexo Costeiro); 6: Plutons da supersuíte G5, granitos a gabro-noritos e rochas híbridas com flogopita-peridotito; 7: Sedimentos Cenozoicos e vulcânicas associadas. Fonte: Modificado de De campos *et al.*, 2016.

Durante este episódio tectônico, o metamorfismo alcançou desde fácies anfibolito até fácies granulito, obliterando estruturas mais antigas e causando deformação associada ao encurtamento (Lammerer, 1987). A deformação brasileira produziu vergência para oeste em direção ao Cráton São Francisco, sendo os empurrões truncados por zonas de cisalhamento destrais de alto ângulo, oblíquas a transcorrentes, definindo um sistema transpressivo proeminente (Pedrosa-Soares *et al.*, 2001), cujas zonas de cisalhamento transpressivas destrais são extensão daquelas situadas ao norte da faixa Ribeira (Wiedemann *et al.*, 2002; Machado *et al.*, 1996; Cunningham *et al.*, 1998; Heilbron *et al.*, 1998). No entanto a tectônica de empurrão para alguns pesquisadores continua sendo o regime mais importante no cenário do orógeno Araçuaí-Ribeira (Pedrosa Soares *et al.*, 2001).

De acordo com Pedrosa-Soares e Wiedemann-Leonardos (2000), as zonas de cisalhamento são ativas por todo orógeno mesmo durante o estágio de docagem dos blocos em colisão, sendo o lineamento Guaçuí a mais importante das zonas de cisalhamento da região, marcada na figura 12 (Wiedemann *et al.* 2002; Cunningham *et al.*, 1998).

A fim de facilitar o entendimento da região, Wiedemann *et al.* (2002) dividiram a faixa Araçuai em dois domínios tectônicos utilizando o perfil de Bouguer, sendo o domínio tectônico externo composto pelo complexo Juiz de Fora (embasamento Riachão) e o domínio tectônico interno composto pelo Gp. Rio Doce e pelo Complexo Paraíba do Sul como pode ser visto na figura 12.

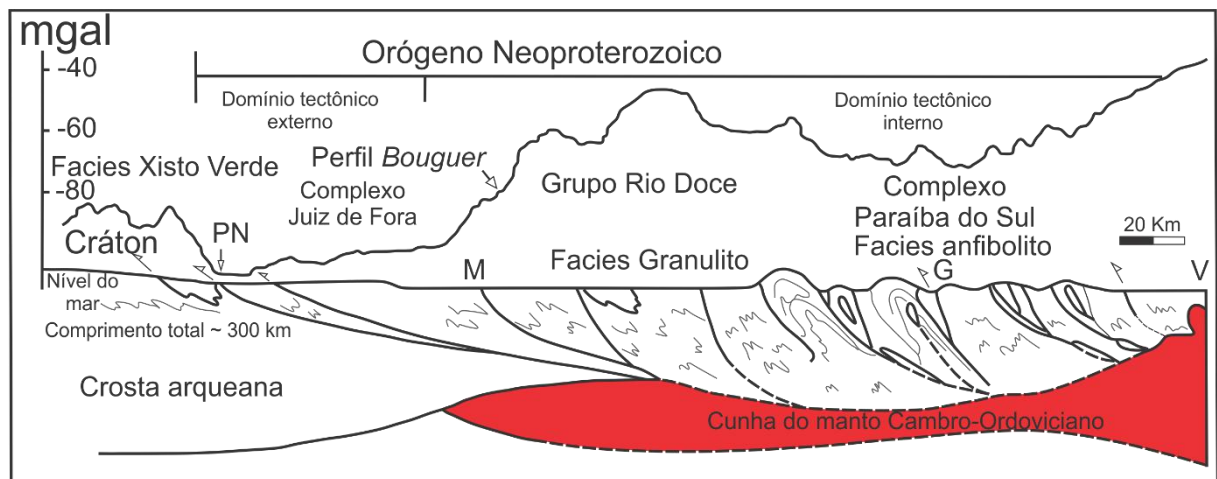


Figura 12: Seção geológica e perfil Bouguer (Haralayi and Hasui, 1982) cruzando a faixa Araçuai no ES, Domínios tectônicos externos e internos ao longo da seção de Belo Horizonte (BH) a Vitória (V). Nessa seção destacam-se os corpos intrusivos da suíte Cambro-Ordoviciano e as rochas que os circundam, pertencentes aos Gp. Dom Silvério, Gp. Rio Doce, Complexo Paraíba do Sul (fácies granulito e anfibolito alto, respectivamente) e ao complexo Juiz de Fora. As principais zonas de cisalhamento são destrais, PN-Ponte Nova, AC- Abre Campo, G- Guaçuí, M- Manhuap. Na seção Bouguer é possível observar no domínio tectônico interno a anomalia negativa correspondente a zona de espessamento crustal. Fonte: Modificado de Haralayi and Hasui, 1982.

O domínio tectônico interno da faixa Araçuai e norte da faixa Ribeira é marcado por uma grande profusão de granitóides calcio-alcálinos do tipo-I, desde o final do Neoproterozoico ao limite Cambro-Ordoviciano (Pedrosa-Soares e Wiedemann-Leonardos, 2000; Sollner *et al.*, 2000), subdividido em dois subdomínios, o subdomínio setentrional (norte do paralelo 19°S), no qual a zona anatética do orógeno é melhor exposta, e o subdomínio sul caracterizado por proeminentes zonas de cisalhamento destrais, rochas de fácies granulito, e plutons graníticos com núcleos máficos, ou seja, inversamente zonados (Wiedemann *et al.*, 2002). Dessa maneira, o subdomínio sul é granulítico e responsável por preservar níveis crustais mais profundos (Seidensticker e Wiedemann, 1992; Sollner *et al.*, 2000).

Após a fase colisional (600 a 580 Ma) a crosta inferior e intermediária permaneceram aquecidas (Sollner *et al.*, 2000). E durante o período de 560 a 535 Ma houve um momento de relaxamento tectônico por quase toda a faixa móvel (Bayer *et al.*, 1987; Seidensticker e Wiedemann, 1992), com a ocorrência de magmatismo, porém este momento foi seguido por um rápido estágio de quiescência da atividade magmática (Wiedemann *et al.*, 2002). Contudo, um novo episódio de magmatismo ocorreu entre 535 e 480 Ma (Sollner *et al.*, 2000). Nesse período há um predomínio de estiramento dúctil e o aparecimento de diques discordantes sugerindo assim a mudança para um regime extensional (Bayer *et al.*, 1987; Lammerer, 1987). Vários plutons foram colocados e cristalizados durante esse curto período magmático pós-colisional (Wiedemann *et al.*, 2002).

Dessa forma, com base em relações de campo, feições estruturais, dados geoquímicos e geocronológicos, os granitoides e seus produtos metamórficos desse orógeno foram agrupados em 5 supersuítes, denominados de G1 a G5, como pode ser visto na figura 11 (Pedrosa-Soares e Wiedemann-Leonardos, 2000; Pedrosa-Soares *et al.*, 2001, 2011).

De acordo com De Campos *et al.* (2016), o agrupamento de diferentes unidades de rochas em supersuítes foi baseado em similaridades geoquímicas e petrológicas, restringidas por idades U-Pb em grãos de zircão. Tais supersuítes são compostas por batólitos, *stocks*, diques e soleiras que se instalaram durante cinco episódios tectônicos distintos de colocação dos granitos, sendo o primeiro episódio (G1) pré-colisional registrado de 630 a 580 Ma, o segundo (G2) é sin-colisional registrado de 585 a 545 Ma, o terceiro (G3) tardi-colisional registrado de 545 a 530 Ma e por último os dois episódios pós-colisionais (G4 e G5) com idades respectivamente de 530 a 500 Ma e 530 a 480 Ma (De Campos *et al.*, 2016).

Sendo assim, as supersuítes podem ser classificadas da seguinte maneira: G1 consiste no componente plutônico do arco magmático Rio Doce (Gonçalves *et al.*, 2014). Os plutons desse evento intrudem o embasamento Riachão (Complexo Juiz de Fora e Pocrane), além de estarem associados com rochas piroclásticas metamorfisadas e vulcanoclásticas de composição dacítica a riolítica do Grupo Rio Doce (Gonçalves *et al.*, 2014). Tal supersuíte possui tendência N-S com 55 km de largura e mais de 300 km de extensão na parte oriental no orógeno (Nalini Jr. *et al.*, 2000; Pedrosa-Soares *et al.*, 2001, 2011; Vieira, 2007; Gonçalves *et al.*, 2010, 2014), contendo plutons representados principalmente por corpos de médio a alto-K, cálcio-alcalinos, tonalíticos a graníticos, além dos equivalentes portadores de ortopiroxênio, geralmente com diversas fácies máficas a dioríticas e enclaves (Nalini Jr. *et al.*, 2000; Gonçalves *et al.*, 2010, 2014; Pedrosa-Soares *et al.*, 2011).

Todas essas características, associadas à assinatura pré-colisional do arco vulcânico das rochas do G1, levaram diversos autores a interpretar essa supersuíte como um arco magmático continental (Nalini Jr. *et al.*, 2000, 2005; Pedrosa-Soares e Wiedemann-Leonardos, 2000; Pedrosa-Soares *et al.*, 2001, 2008, 2011; Martins *et al.*, 2004; Gonçalves *et al.*, 2010, 2014; Novo *et al.*, 2010; Tedeschi, 2013), denominado inicialmente como Arco Rio Doce por Figueiredo e Campos-Neto (1993), o qual parece ter sido formado como resposta a subducção da litosfera oceânica do oeste para leste (na atual geografia) entre 630 e 580 Ma, antes do evento colisional que levou ao desenvolvimento final do orógeno Araçuaí-Congo ocidental por volta de 575-560 Ma (Pedrosa-Soares *et al.*, 1998, 2001, 2008; Alkmim *et al.*, 2006).

Quanto ao embasamento do arco Rio Doce, este compreende principalmente gnaisses Riacianos do Complexo Juiz de Fora, que afloram ao longo das porções sul e sudoeste do arco e o complexo Pocrane exposto nos setores centro-sul e noroeste do arco (Gonçalves *et al.*, 2014). O complexo Juiz de Fora (2,2 a 2,0 Ga) consiste em um arco juvenil (Figueiredo e Teixeira, 1996; Machado *et al.*, 1996; Duarte *et al.*, 1997, 2000; Costa, 1998; Fischel *et al.*, 1998; Noce *et al.*, 2007, 2012; Heilbron *et al.*, 2010; Novo *et al.*, 2010) composto essencialmente por gnaisses granulíticos verde-acinzentados, bandados, de composição enderbítica a charnoquítica com intercalação de granulitos máficos, representando uma suíte cálcio-alcalina com poucas rochas de assinatura toleítica (Gonçalves *et al.*, 2014).

Quanto ao complexo Pocrane (2,2 a 2,08 Ga), ele é formado por biotita-hornblenda ortognaisses, bandados a laminados, pouco a praticamente não migmatizados de composição diorítica a granítica, representando uma série cálcio-alcalina metamorfisada em fácies anfibolito (Féboli e Paes, 2000; Pereira e Zuchetti, 2000; Tuller, 2000; Novo, 2013).

Já a supersuíte G2, que compõe o complexo núcleo metamórfico do orógeno, possui uma predominância de metagranitos do tipo-S. Além disso, o núcleo metamórfico também é formado por migmatitos relacionados e granitos do tipo-S refundidos da supersuíte G3, os quais evoluíram em conjunto durante um intervalo de tempo de 585 a 530 Ma (Pedrosa-Soares *et al.*, 2011). O espessamento crustal e a formação do núcleo metamórfico da faixa Araçuaí é caracterizado por um metamorfismo de alta temperatura e pressão média, ou seja, do tipo Barroviano (Sluitner e Weber-Diefenbach, 1989; De Campos *et al.*, 2004; Peixoto *et al.*, 2015; Gradim *et al.*, 2014), gradando de condições secas para condições de ultrametamorfismo rica em H₂O com abundante fusão parcial e desidratação do protólito, principalmente sedimentar, que foram os responsáveis por originar as supersuítes citadas anteriormente (G2 e G3),

encontradas no núcleo desse complexo metamórfico. Essa região é considerada a zona quente do *Back-Arc* do orógeno Araçuaí (Gradim *et al.*, 2014).

Com a extensa refusão dos metagranitos G2 e a formação dos diatexitos G3, ao longo do núcleo metamórfico do orógeno, que foi contemporâneo ao reaquecimento dos gnaisses e granulitos de baixa pressão (De Campos *et al.*, 2016), texturas típicas como a substituição de piroxênios por biotita, simplectitos e texturas em coroa indicam o início de um evento descompressional regional em torno de 545 a 530 Ma, relacionado ao relaxamento da tectônica compressiva devido ao início do colapso gravitacional (Wiedemann *et al.*, 1997; Bento dos Santos *et al.*, 2010; Gradim *et al.*, 2014).

De acordo com De Campos *et al.* (2016) esse momento de descompressão regional ligado ao colapso gravitacional foi responsável por formar zonas de cisalhamento e sistemas de fraturas por todo orógeno. E eles claramente cortam a *fabric* compressional do Brasileiro, representando manifestações tectônicas de um colapso orogênico tardio causado pela gravidade, e as intrusões das supersuítas G4 e G5 (530 a 480Ma) são relacionadas a esse momento.

A supersuíte G4 consiste em intrusões graníticas do Tipo-S relativamente rasas, entre 5 a 15 km (Pedrosa-Soares *et al.*, 2008), formadas por plutons zonados em forma de balão composto por núcleos de biotita-granitos que em suas raízes gradam para granitos duas micas e muscovita-granada leucogranitos em direção a borda, cobertos por cúpulas pegmatoides (Pedrosa-Soares *et al.*, 2011). Os plutons do G4 geralmente mostram xenólitos e *roof-pendants* das rochas encaixantes (Pedrosa-Soares *et al.*, 2011).

Já a supersuíte G5 é composta principalmente por intrusões graníticas do Tipo-I que inclui porções charnoquíticas, enderbíticas e alguns pequenos corpos máficos com fácies graníticas e/ou charnoquíticas subordinadas (Pedrosa-Soares *et al.*, 2008). Tais intrusões são cálcio-alcalinas a alcalinas de alto K-Fe, e também fontes de pegmatitos ricos em água marinha e topázio (Pedrosa-Soares *et al.*, 2011).

5. GEOLOGIA DA ÁREA ESTUDADA

Na área de estudos foi possível realizar a identificação e descrição de seis litotipos distintos, sendo eles: 1) Paragneisse, 2) Ortognaisse Estrela, 3) Leucogranito, 4) Granito Alto Chapéu, 5) Diorito Alto Chapéu e 6) Titanita granito, os quais foram cartografados na escala de 1:25.000 (Figura 13).

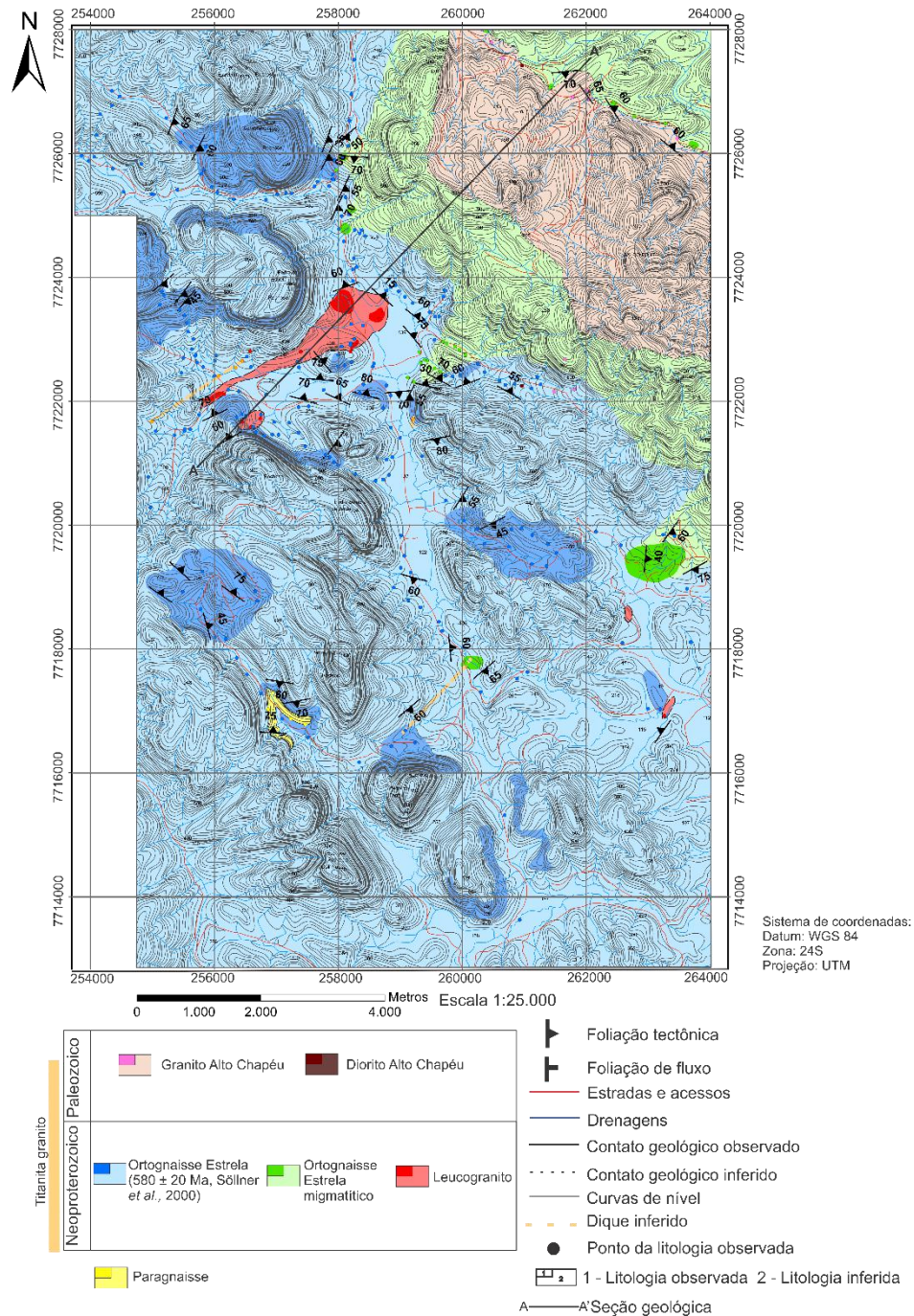


Figura 13: Mapa geológico da área estudada.

5.1. Descrição dos litotipos mapeados

5.1.1. Paragnaisse

O Paragnaisse é encontrado localmente na porção sul da área mapeada, como pode ser visto na figura 13. Ocorre sob a forma de blocos métricos e lajedos em encostas de morros.

Tal litotipo diferentemente da maioria das rochas da região possui protólito sedimentar, assim, apresentando características peculiares. Seu índice de cor varia de 10% a 15%, portanto sendo classificado como leucocrático, quanto a sua granulometria esta pode ser classificada como fina, com grãos menores que 1,0mm. Em relação a assembleia mineral do Paragnaisse, essa é composta por quartzo, feldspato, biotita, muscovita, granada.

Outra característica importante do Paragnaisse é a foliação por vezes visível, marcada pelos minerais máficos, principalmente pela biotita, como pode ser visto na figura 14A. Além disso, o paragnaisse apresenta localmente porfiroblastos de feldspato inseridos em uma matriz de granulação média, a qual é composta pela mineralogia citada anteriormente. Há também a ocorrência de dobras fechadas (Figura 14B), as quais apresentam eixo N-S.

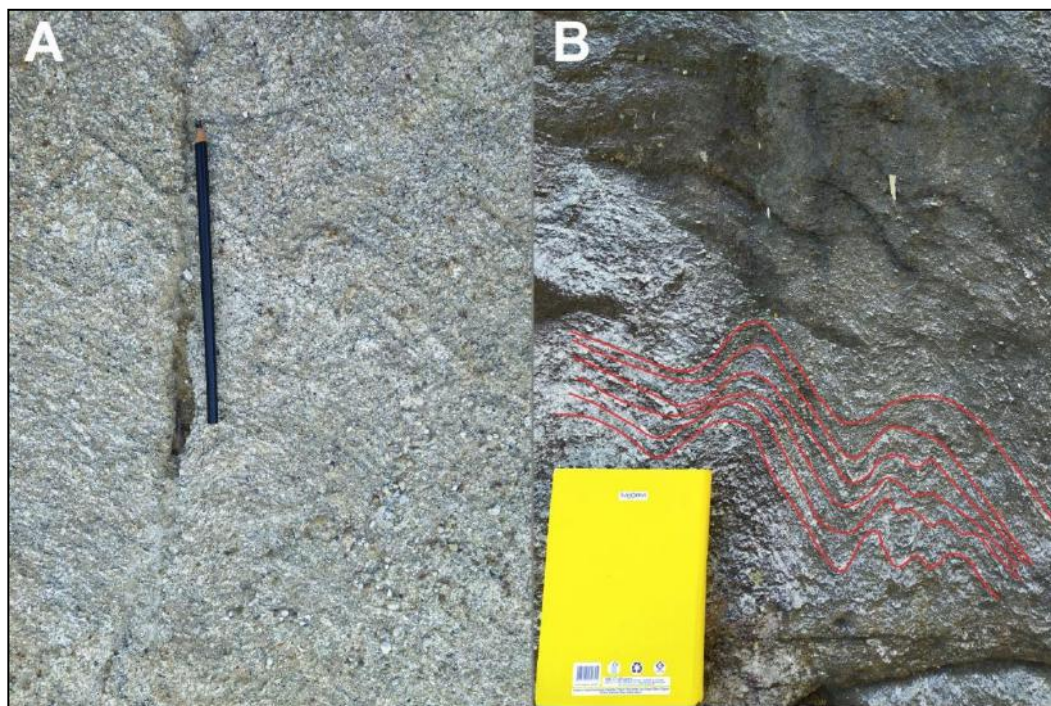


Figura 14: A - Paragnaisse leucocrático com foliação marcada pela biotita (Ponto ES-237). B – Paragnaisse apresentando dobras fechadas, marcadas em vermelho (Ponto ES-235).

Quando em contato com o Ortognaisse Estrela, tal contato varia de brusco (Figura 15) a difuso em algumas porções, devido a reações de borda existente entre os dois litotipos, que evidencia assimilação e resulta na ocorrência de granada no ortognaisse.

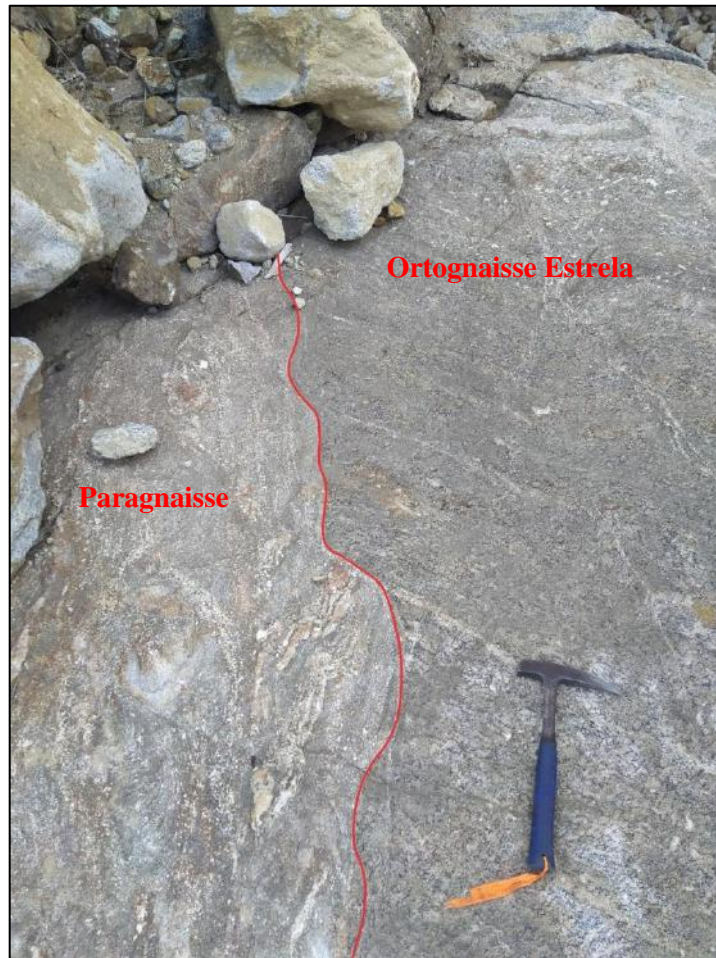


Figura 15: Contato brusco entre o Paragnaisse e o Ortognaisse Estrela. Ponto ES-237.

5.1.2. Ortognaisse Estrela

O Ortognaisse Estrela é o litotipo predominante na área de mapeamento ocupando cerca de 90% de toda área cartografada, como pode ser visto na figura 13. Ocorre aflorando com morfologias distintas, como lajedos, escarpas íngremes e encostas de morros, os quais variam entre 500 a 1000 metros de altitude, sendo caracterizado com um relevo tipo “Pão de açúcar”, como pode ser visto na figura 16, que evidencia que tal litotipo é responsável por controlar a geomorfologia local. Ademais o ortognaisse também ocorre sob a forma blocos decimétricos a *boulders* com mais de 10 metros.



Figura 16: Fotografia exemplificando a geomorfologia da área estudada e a tipologia mais comum dos afloramentos do Ortognaisse Estrela, na forma de relevo tipo “pão de açúcar”.

O ortognaisse tem índice de cor variando de 12% a 20%, sendo assim, classificado como leucocrático (Figura 17), com textura inequigranular porfirítica e matriz equigranular hipidiomórfica. Contém uma quantidade variável de fenocristais de feldspato (plagioclásio), geralmente entre 20% a 40%, os quais na maioria dos casos são bem formados, e com dimensões variando de 2,0 a 4,0 cm de comprimento (Figura 18). Há também locais em que o Ortognaisse Estrela apresenta variação faciológica exibindo textura equigranular devido a um possível acúmulo de matriz (Figura 19).

Em relação a matriz do ortognaisse porfirítico, ela possui granulação média e é composta pela seguinte mineralogia: biotita, quartzo, feldspato, anfibólio, titanita, por vezes há também allanita e magnetita. Em diversos casos o Ortognaisse Estrela preserva as estruturas primárias da rocha, sendo geralmente isotrópico. Porém é possível em determinados pontos identificar uma foliação bem marcada, sendo esta causada pelo fluxo de magma (Figura 20). Além disso, foi possível visualizar em diversos pontos em que o ortognaisse aflora, a coexistência entre a foliação de fluxo e uma foliação tectônica com orientações distintas uma da outra, indicando a ocorrência de deformação tectônica na região, sendo a segunda marcada pela orientação de minerais máficos, geralmente biotita e anfibólio, e pelos fenocristais de feldspato que se apresentam com geometria *augen* (figuras 17, 18 e 21).



Figura 17: Blocos do Ortogneiss Estrela, evidenciando seu índice de cor médio de 15%, (leucocrático). Ponto ES-48.



Figura 18: Fenocristas de feldspato do Ortogneiss Estrela apresentando formato tabular e *augen*. Ponto ES-80.

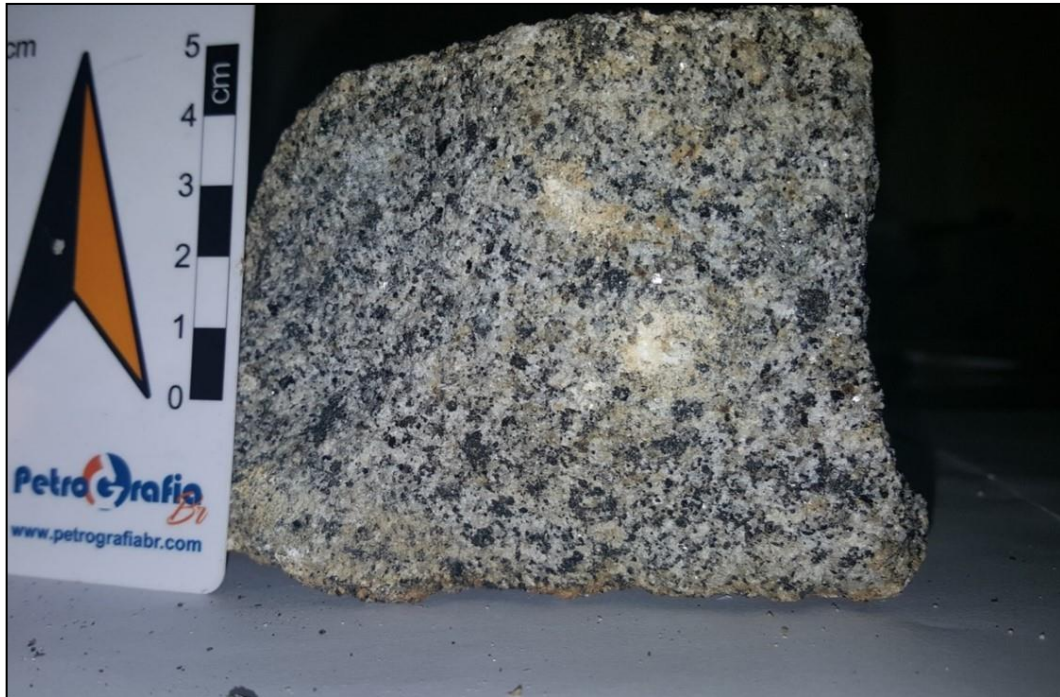


Figura 19: Amostra do Ortognaisse Estrela com textura equigranular. Ponto ES-58.

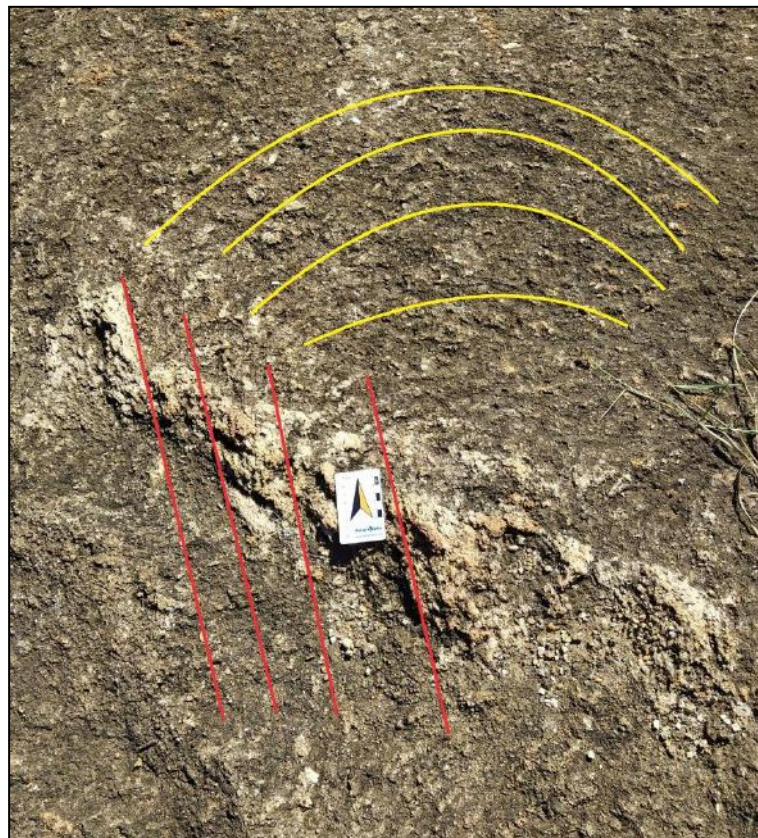


Figura 20: Bloco do Ortognaisse Estrela com foliação de fluxo preservada, marcada em amarelo e foliação tectônica marcada em vermelho, a qual é posterior a entrada do veio pegmatítico, que também foi afetado pela foliação tectônica, ficando escalonado. Ponto ES-233.



Figura 21: Foliação dobrada, marcada pelos fenocristais de feldspato, devido aos esforços tectônicos que o Ortognaisse Estrela foi submetido. Ponto ES-217.

Porém há porções do Ortognaisse Estrela, principalmente na região nordeste da área de estudo (Figura 13) em que sua estrutura e textura são distintas do restante da área, possuindo diversas estruturas migmatíticas, como estomática, *schlieren*, *schöllen* e veios ptigmáticos, tanto em afloramentos como em blocos, como pode ser visto nas figuras 22A, 22B, 22C e 22D. Nessas porções em que a fusão parcial do Ortognaisse Estrela é nítida, é possível observar indicadores de deformação como discretas zonas de cisalhamento dúcteis (Figura 23).

Dessa maneira, essa porção migmatizada do Ortognaisse Estrela possui características distintas da sua parte não fundida, que além das estruturas citadas apresenta também quatro porções que claramente comprovam a sua fusão parcial, são elas: paleossoma, o qual preserva as características da rocha fundida, mesossoma, leucossoma e a fase residual (Figura 24).

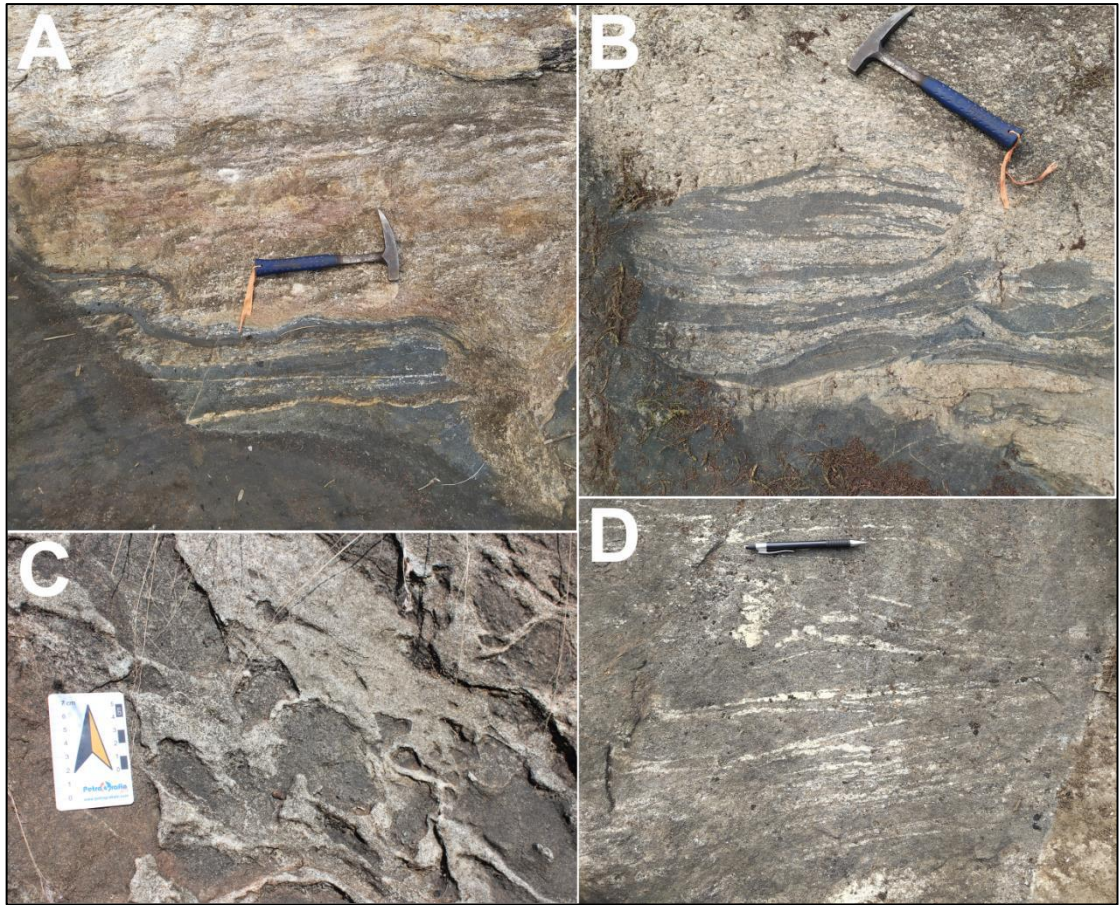


Figura 22: Estruturas migmatíticas da porção migmatizada do Ortognaisse Estrela. **A** – Estrutura estromática (Ponto ES-277), **B** – Estrutura schlieren (Ponto ES-277), **C** – Estrutura Schöllen (Ponto ES-58), **D** - Dobras ptigmáticas (Ponto ES-276).



Figura 23: Zona de cisalhamento dúctil em bloco do Ortognaisse Estrela. Ponto ES-244.

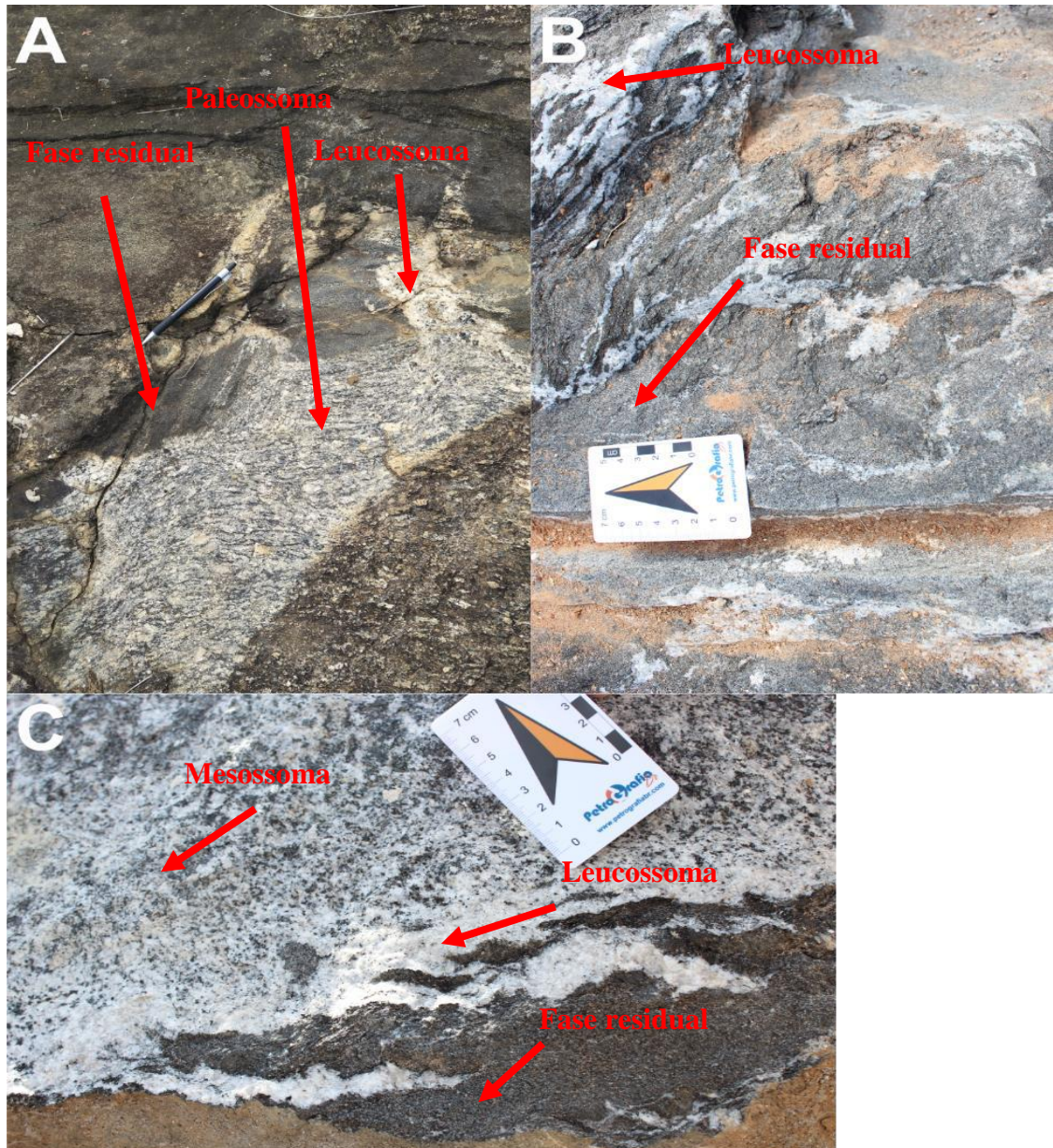


Figura 24: Estruturas migmatíticas do Ortognaisse Estrela. **A** – É possível visualizar paleossoma, leucossoma e a fase residual (Ponto ES-276), **B** – É possível identificar a fase residual e o leucossoma (Ponto ES-50). **C** – É possível identificar com muita clareza as 3 porções do migmatito.

O Ortognaisse Estrela é cortado por vários corpos rochosos, dentre eles o Maciço Alto Chapéu, Titanita granito, veios de quartzo, aplitos e pegmatitos (figuras 20 e 25). Enclaves máficos, meso a melanocráticos são observados em alguns pontos de ocorrência do ortognaisse (Figura 26).

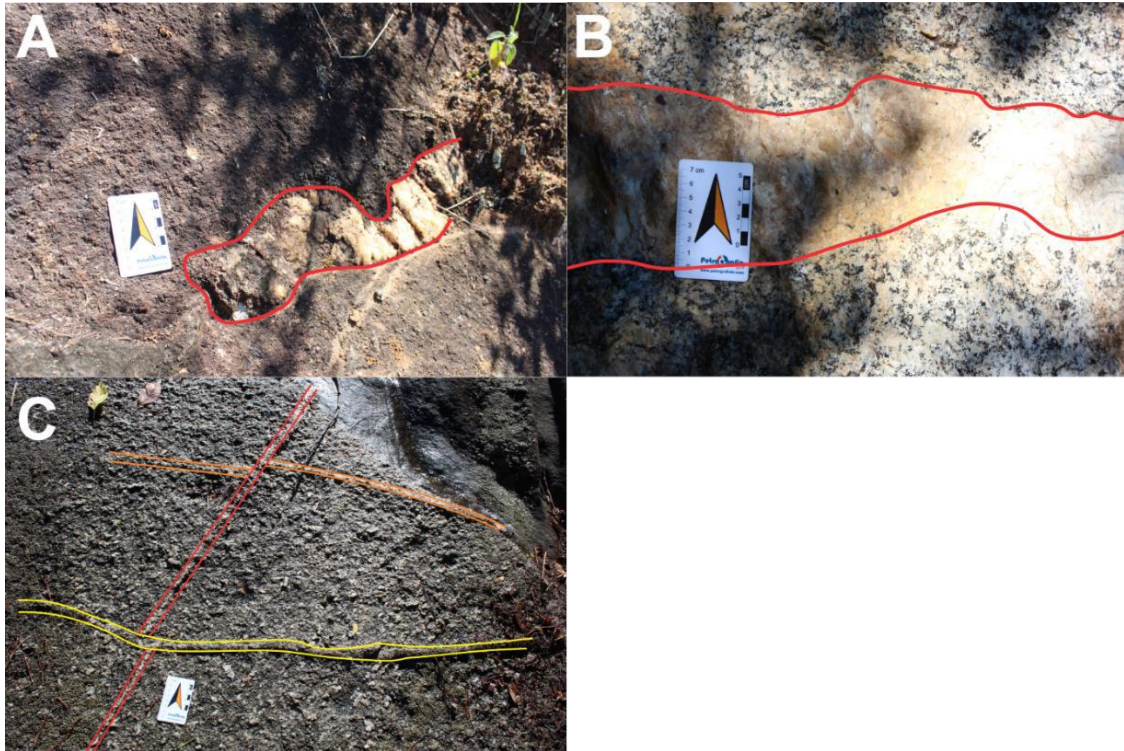


Figura 25: Corpos que cortam o Ortognaisse Estrela. **A** – Lajedo de Ortognaisse Estrela cortado por veio pegmatítico (Ponto ES-51), **B** – Bloco do Ortognaisse Estrela cortado por um veio de quartzo, marcado em vermelho, com 20 cm de largura (Ponto ES-171), **C** – Três gerações de veios de quartzo que além de cortarem o Ortognaisse Estrela possuem relações de corte entre si, sendo o primeiro deles o marcado em laranja, o segundo em vermelho e o terceiro destacado em amarelo (Ponto ES-161).

Como já apresentado anteriormente, o ortognaisse pode conter cristais de granada oriunda de assimilação do Paragnaisse (Figura 27)

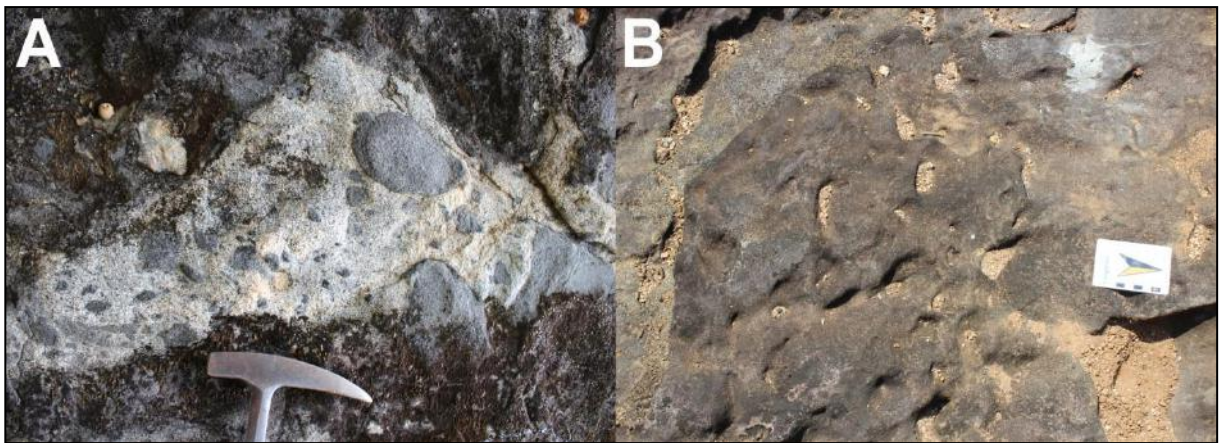


Figura 26: Enclaves de diorito no Ortognaisse Estrela. **A** – Bloco com enclaves de diorito no Ortognaisse Estrela equigranular (Ponto ES-59), **B** – Feições em afloramento do Ortognaisse Estrela geradas por enclaves (Ponto ES-58).



Figura 27: Ortognaisse Estrela com presença de granada (circuladas em vermelho), associada a assimilação do paragnaisse. Ponto ES-237.

5.1.3. Leucogranito

O Leucogranito é encontrado geralmente na porção central da região mapeada, localizada próxima ao centro do distrito de Estrela do Norte, e também na região sudeste da área de estudo. Tal litotipo aflora nas partes em que apresentam as cotas mais baixas, como pode ser visto na figura 13, indicando um provável controle topográfico. Ocorrendo sob a forma de blocos métricos e também em afloramentos, geralmente localizados em cortes de estrada ou em pedreiras da região, como pode ser visto na figura 28.

Trata-se de rocha hololeucocrática com IC variando entre 5% e 10%. Quanto a sua textura, varia de equigranular a inequigranular porfirítica, quando equigranular apresenta granulação média, e quando porfirítico possui fenocristais de feldspato variando de 1,0 a 3,0 cm de comprimento e matriz de granulação média. Quanto a mineralogia, consiste em feldspato, quartzo, biotita, allanita e magnetita, predominando os minerais félsicos, (Figura 29). Em relação a estrutura da rocha, no geral é isotrópica a levemente foliada, com a foliação sendo marcada pelos fenocristais quando porfirítica e/ou pelos minerais máficos.



Figura 28: Lajedo cortado em pedra mostrando a relação entre o Leucogranito e o Ortognaisse Estrela falhado (falha indicada em vermelho). Ponto ES-04.



Figura 29: Bloco do Leucogranito equigranular em pedra com diversos cristais de allanita circulados em vermelho. Ponto ES-04.

Outra característica importante associada ao Leucogranito é a presença de enclaves do Ortognaisse Estrela, sendo possível identificar alguns enclaves falhados, como da figura 30, encontrado em uma pedra na região.



Figura 30: Bloco do Leucogranito em pedreira com enclave falhado do Ortognaisse Estrela. Ponto ES-04.

5.1.4. Titanita granito

O Titanita granito ocorre de forma dispersa por toda região mapeada, sob a forma de diques que variam de 10 cm a 1,0 m de largura, como pode ser visto nas figuras 31A, 31B e 31C e blocos métricos orientados na área de ocorrência do Ortognaisse Estrela.



Figura 31: Diques de Titanita-Granito (delimitados em vermelho) fazendo contato retilíneo com o Ortognaisse Estrela. **A** – Ponto ES-161, **B** – Ponto ES-221, **C** – Ponto ES-217.

Este litotipo apresenta índice de cor entre 30% a 40%, sendo leucocrático a mesocrático e possui textura equigranular de granulação fina. Tal rocha tem estrutura isotrópica e é composta por quartzo, feldspato, biotita, titanita e magnetita. Além disso, os diques de Titanita

granito apresentam orientação preferencial NNE-SSW e cortam com contatos bruscos retilíneos o Ortognaisse Estrela (Figura 31), indicando que no momento de colocação havia uma grande diferença de temperatura entre os dois litotipos.

5.1.5. Granito Alto Chapéu

O Granito Alto Chapéu aflora na porção nordeste da área mapeada, como pode ser visto na figura 13, ocorrendo sob a forma de blocos, os quais variam desde blocos centimétricos até *boulders* com mais de 10 m de comprimento, além de aflorar em cortes de estrada e encostas de morros.

O granito é leucocrático com índice de cor de cerca de 15%. Sua textura em geral é inequigranular porfirítica, apresentando em média cerca de 40% de fenocristais de K-feldspato róseos, medindo por volta de 3,0 cm de comprimento (Figura 32), porém há variações faciológicas que apresentam porcentagens distintas de fenocristais de K-feldspato, ocorrendo tanto com 10% até certos pontos com cerca de 80% de fenocristais, ganhando aspecto cumulático, como pode ser visto na figura 33. A matriz, de granulação média, é composta por quartzo, feldspato, biotita, magnetita e anfibólio. Em relação a estrutura dessa rocha, no geral é isotrópica, porém há pontos em que a foliação é bem marcada e com discretas zonas de cisalhamento.

Outra feição importante que pode ser observada nessa litologia foram os enclaves de um corpo granítico equigranular de granulação fina, provavelmente correlato ao Titanita granito, como pode ser visto na figura 34.



Figura 32: Granito Alto Chapéu com fenocristais de K-feldspato apresentando tamanhos variados. Ponto ES-96.



Figura 33: Variação faciológica do Granito Alto Chapéu com 80% de fenocristais de K-feldspato. Ponto ES-259.



Figura 34: Enclave de granito equigranular fino (circulado em vermelho) no Granito Alto Chapéu. Ponto ES-257.

5.1.6. Diorito Alto Chapéu

O Diorito Alto Chapéu é a rocha que possui ocorrência mais discreta dentro área mapeada, ocorrendo somente em blocos menores que 1,0 m nas proximidades do Granito Alto Chapéu, como pode ser visto na figura 13.

Trata-se de uma rocha com índice de cor de cerca de 50% (Figura 35) sendo, portanto, mesocrático. Possui textura equigranular com cristais de granulação fina a média, sendo sua mineralogia composta por feldspato, biotita, anfibólio e pouco quartzo. Em relação a sua estrutura, é isotrópica e levemente foliada. Foi possível identificar em um dos pontos a presença de xenocristais de K-feldspato, que pode ser uma evidencia de mistura mecânica com o Granito Alto Chapéu, que é rico em feldspatos alcalinos.



Figura 35: Amostra de mão do Diorito Alto-chapéu evidenciado seu alto índice de cor. Ponto ES-020.

6. PETROGRAFIA

Nesse trabalho foram analisadas 36 lâminas com o auxílio do microscópio petrográfico binocular de luz transmitida (Modelo *Nikon*® eclipse E200, Figura 4), sendo que dos seis litotipos identificados em campo, só foi possível coletar amostras e confeccionar lâminas de quatro deles, Ortognaisse Estrela ((28) - Foco do estudo), Leucogranito (6), Titanita granito (1) e o Diorito Alto Chapéu (1).

6.1. Ortognaisse Estrela

Ao microscópio, o Ortognaisse Estrela apresenta índice de cor variando entre 15% a 25%, portanto, trata-se de uma rocha leucocrática. Em relação a textura, essa apresenta-se preferencialmente inequigranular porfirítica contendo fenocristais de plagioclásio medindo de 4,0 a 6,0 mm (figuras 36 e 39) que representam por volta de 20% da rocha. A matriz é equigranular hipidiomórfica de granulação média, com cristais medindo em torno de 1,5 mm. Porém, há casos em que o Ortognaisse Estrela ocorre com textura equigranular, possuindo uma granulação média com os cristais medindo em torno de 2,0 mm. Já em relação à estrutura, na maioria dos casos é isotrópica, mas nas porções que sofreram maior grau de deformação, geralmente relacionadas a partes migmatizadas do ortognaisse, há um predomínio de estruturas foliadas bem marcadas, principalmente pelos minerais máficos e por vezes pelos fenocristais (Figura 37), sendo possível observar tanto em lâmina como em escala de afloramento.

Quanto à mineralogia que compõe o ortognaisse, essa pode ser subdividida da seguinte forma: como minerais essenciais, plagioclásio, quartzo, biotita, hornblenda e por vezes K-feldspato, minerais acessórios, apatita, allanita, titanita, zircão, epidoto, granada e opacos (magnetita e ilmenita). E em alguns casos também é possível identificar minerais pós-magmáticos, sendo visível em diversas lâminas sericita, caulinita, carbonato e epidoto como produtos da alteração dos feldspatos, sendo no caso do epidoto através do processo denominado saussuritização, além disso, pode ser observado muscovita, clorita e epidoto como alterações da biotita e também hornblenda alterando para epidoto. Outro mineral que por vezes é visto devido a reações pós-magmáticas é a titanita, que ocorre na borda de minerais opacos, possivelmente devido aos altos teores de TiO_2 presente nesses minerais (Figura 38).



Figura 36: Fotomicrografia do Ortognaisse Estrela, com objetivo de evidenciar uma porção de um fenocristal de plagioclásio, medindo 4,0 mm.

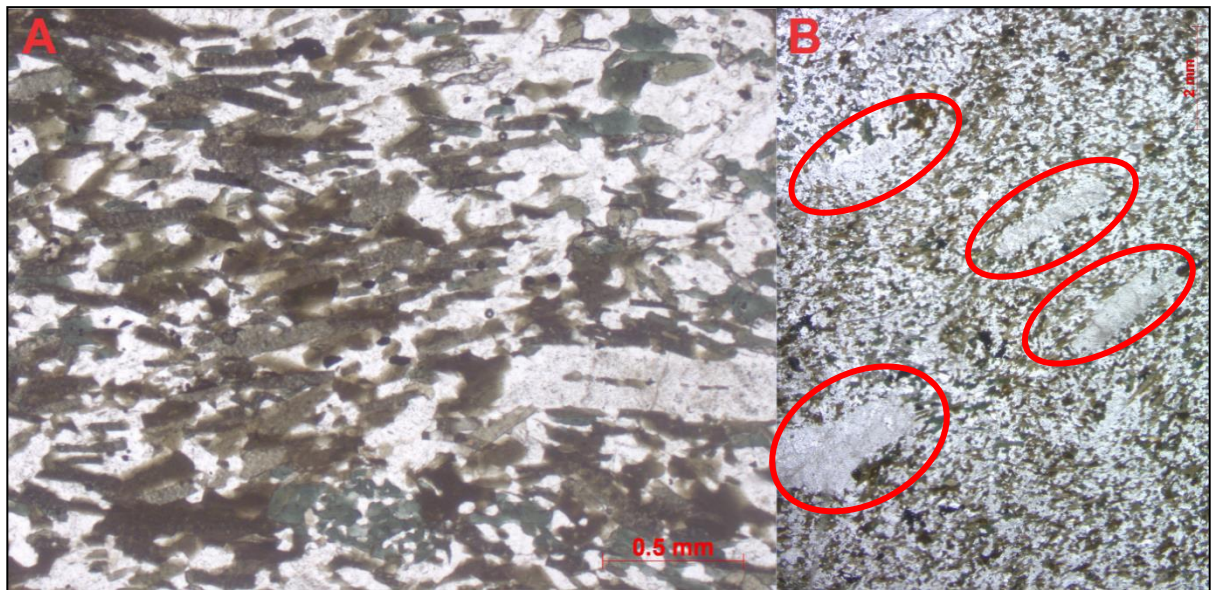


Figura 37: Fotomicrografias da porção migmatizada do Ortognaisse Estrela. (A) Minerais máficos, principalmente a biotita, marcando a foliação da rocha. (B) Fenocristais de plagioclásio, circutados em vermelho, marcando a foliação.

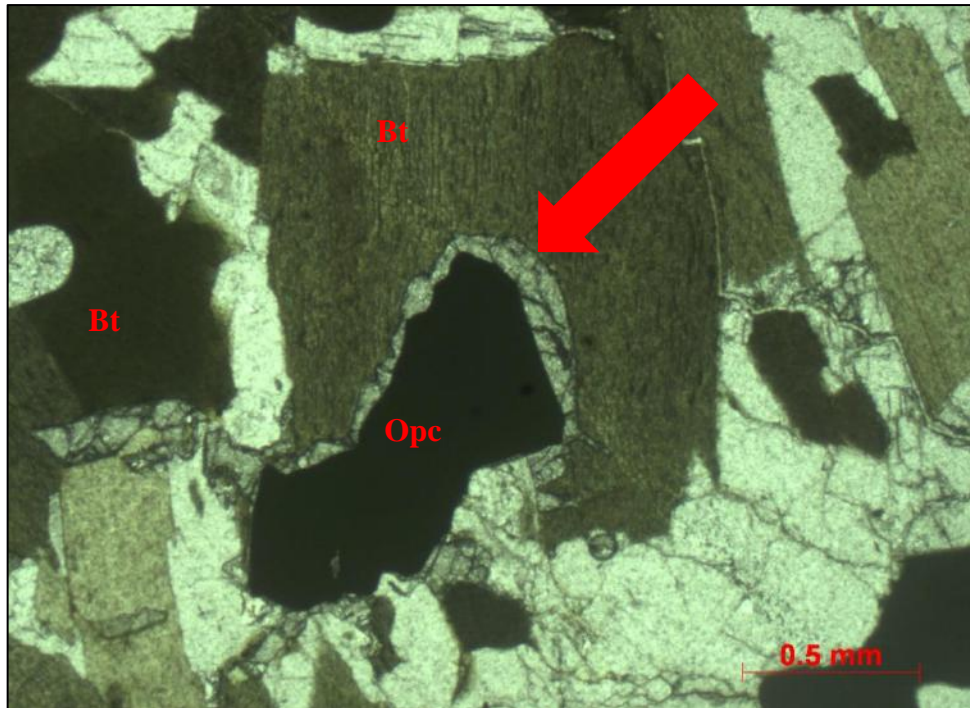


Figura 38: Fotomicrografia com objetivo de mostrar o mineral opaco circundado por titanita pós-magmática, apontada pela seta em vermelho.

Abordando as características de cada mineral observado, o plagioclásio consiste no mineral mais abundante no Ortognaisse Estrela, sendo ele encontrado tanto como fenocristais, assim como, constituinte da matriz. Quando ocorre como fenocristais, esses possuem em média de 4,0 mm a 6,0 mm de comprimento e na maioria dos casos ocorrem bem desenvolvidos (euédricos), como pode ser observado na figura 39, já na matriz da rocha é encontrado com tamanho variando entre 1,0 a 2,0 mm com grau de desenvolvimento subédrico na maioria dos casos. Apresenta geralmente geminação polissintética, com hábito tabular e contatos retos, além de inclusões de opacos, allanita, biotita, zircão e apatita, e alteração para sericita, caulinita e epidoto devido a saussuritização (Figura 40A e 40b), e textura mirmequítica nos contatos com K-feldspato (Figura 41). Quanto a composição dos cristais de plagioclásio, são classificados como andesina ($An_{39,2}Ab_{60,6}Or_{0,2}$).

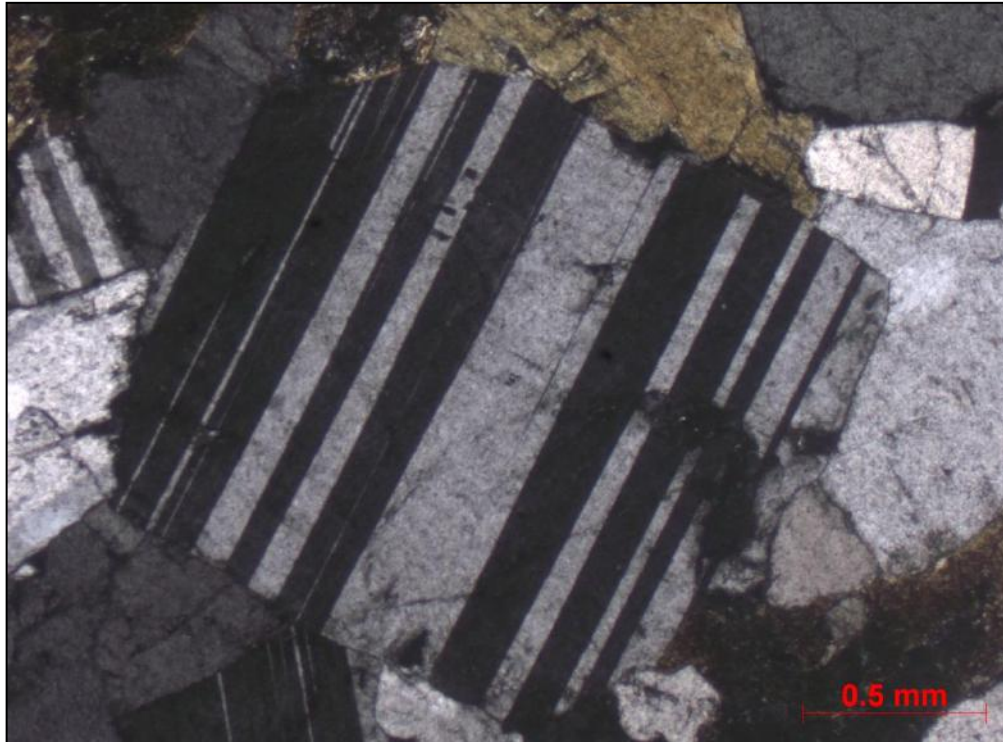


Figura 39: Fotomicrografia de um fenocristal euédrico de plagioclásio do Ortognaisse Estrela.

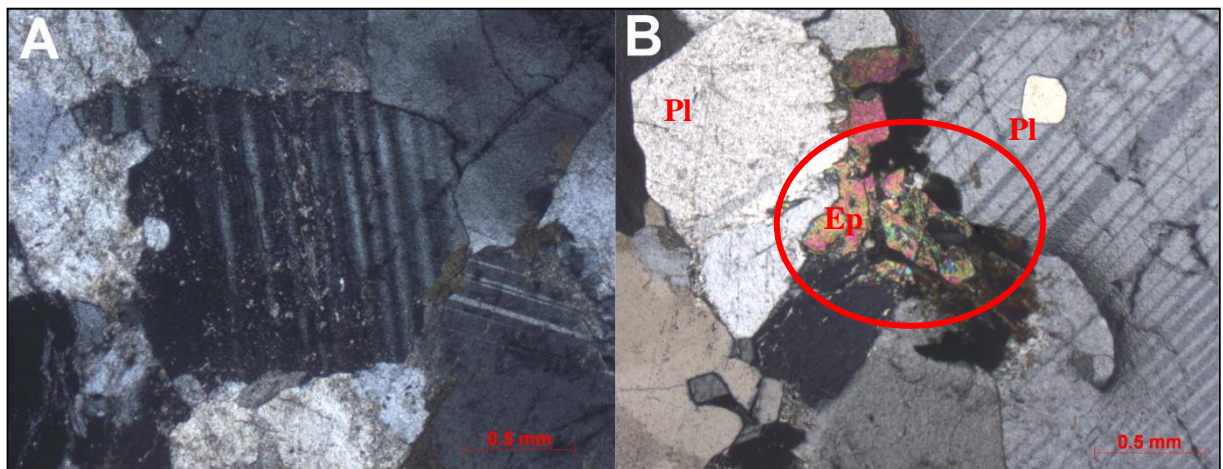


Figura 40: Fotomicrografia do Ortognaisse Estrela exemplificado algumas das alterações dos cristais de plagioclásio. (A) Cristal de plagioclásio no centro da figura alterando para caulinita. (B) Epidoto crescendo na borda dos cristais de plagioclásio devido a saussuritização.

Em relação aos cristais de quartzo, esses são constituintes da matriz variando de 0,5 a 1,5 mm de comprimento com cor de interferência cinza a amarelo de primeira ordem. Possuem hábito granular a levemente estirado, apresentando por vezes feições de recristalização na porção migmatizada do Ortognaisse Estrela (Figura 42), com grau de desenvolvimento anédrico e contatos sinuosos. Além disso, apresentam fraturas e inclusões de opacos, biotita e apatita.

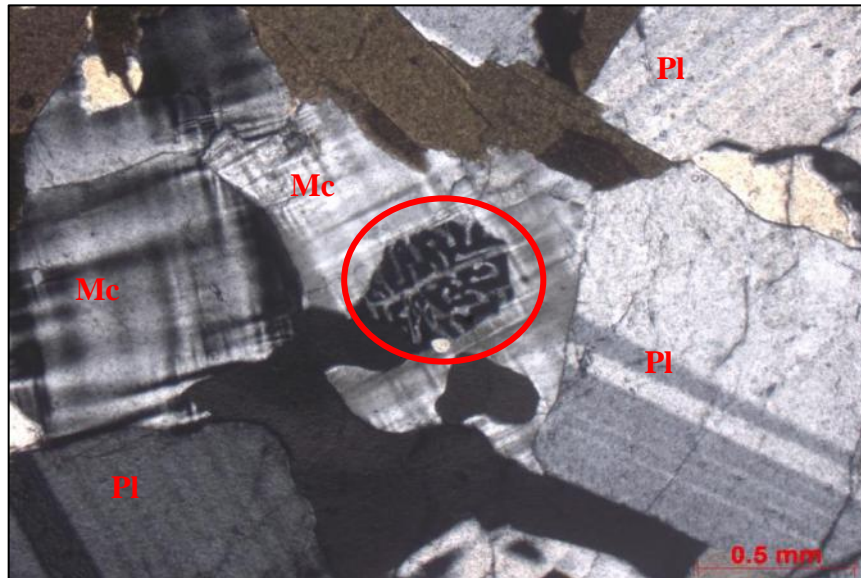


Figura 41: Fotomicrografia de cristais de microclina apresentando geminação tartan e textura mirmequitica, circulada em vermelho.

A microclina tem geminação tartan, hábito tabular a granular, com contatos retos a sinuosos e dimensão variando entre 0,75 a 1,5 mm de comprimento, apresentando grau de desenvolvimento subédrico a anédrico. Sua distribuição na rocha é dispersa e ocorre apresentando alterações para sericita e caulinita, além de inclusões de opacos, biotita, zircão e apatita. Intercrescimento perítico é observado em alguns cristais.

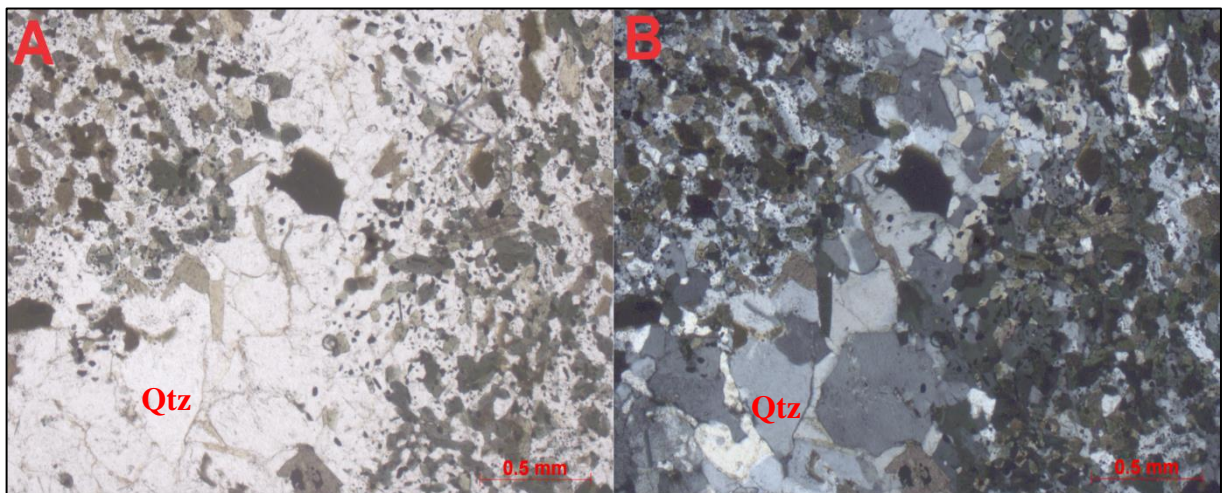


Figura 42: Fotomicrografia da porção migmatizada do Ortognaise Estrela exibindo leucossoma com feições de recrystalização dos cristais de quartzo. (A) Bolsão de quartzo a LPP. (B) Bolsão de quartzo recrystalizado a LPC.

Quanto aos minerais máficos, a biotita é encontrada como constituinte da matriz com cerca de 1,0 mm de comprimento, sendo geralmente associada a outros minerais máficos formando agregados (Figura 43). Ela apresenta cor marrom com pleocroísmo variando de marrom claro a marrom escuro, hábito lamelar com grau de desenvolvimento euédrico a

subédrico e contatos retos. Além disso, possui inclusão de zircão, allanita e opacos, além de alterar para mica branca, clorita e epidoto.

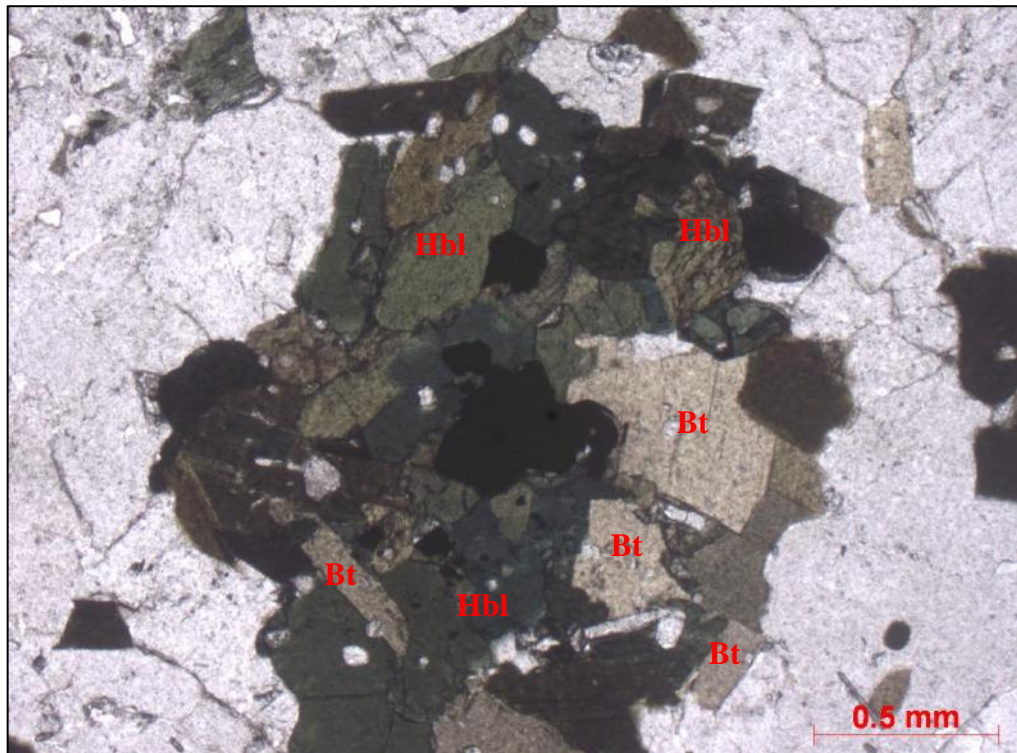


Figura 43: Fotomicrografia de agregado máfico contendo cristais de biotita e hornblenda.

A hornblenda tem cor verde (Figura 43), com pleocroísmo de verde claro a verde escuro ou de verde claro para marrom, variando entre 1,75 e 2,25 mm de comprimento, com hábito prismático e grau de desenvolvimento subédrico a anédrico. Este mineral foi observado em associação com a biotita indicando um possível retrometamorfismo (Figura 43), porém há vários cristais que estão isolados e dispersos na rocha. Epidoto aparece também associado à hornblenda, além de frequentes inclusões de apatita, zircão, allanita e opacos.

Em relação aos minerais acessórios que compõem a rocha, são encontrados sobretudo como inclusões nas fases principais, porém também como cristais isolados na matriz.

Outro mineral acessório presente no ortogneisse é a titanita, sendo o mineral acessório mais abundante no ortogneisse. Ocorrem cristais que constituem a matriz com cerca de 1,0 mm, possuem cor castanha e pleocroísmo castanho claro a escuro. Tratam-se de cristais euédricos, de hábito prismático (losangular) e contatos retos (Figura 44), porém podem ocorrer também com hábito granular, anédricos, e com contatos serrilhados, geralmente associados aos minerais opacos (Figura 38) e biotita. Apresentam inclusões de opacos e zircão.

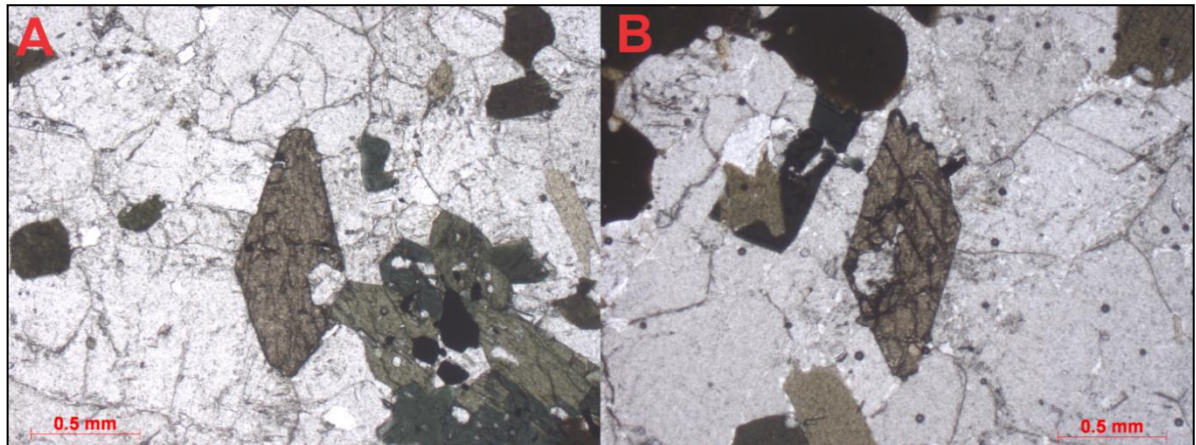


Figura 44: Fotomicrografia exibindo cristais de titanita primários com hábito prismático bem preservado.

A apatita é encontrada como constituinte da matriz com cerca de 0,2 mm, com hábito granular e contatos arredondados, além de ocorrer frequentemente inclusa nas fases essenciais.

A allanita possui cor castanha, com pleocroísmo variando de castanho claro até castanho escuro, com a presença de halos negros no contorno do mineral. São cristais prismáticos com dimensões de até 0,5 mm, subédricos e com contatos retos. Esse mineral possui uma distribuição dispersa na rocha e ocorre como inclusão em fases principais na maioria das vezes. Além disso, a allanita é responsável por causar faturamento nos minerais vizinhos devido à metamictização e também ocorre muitas das vezes zonada (Figura 45A), além de estar associada ao epidoto em alguns casos (Figura 45B).

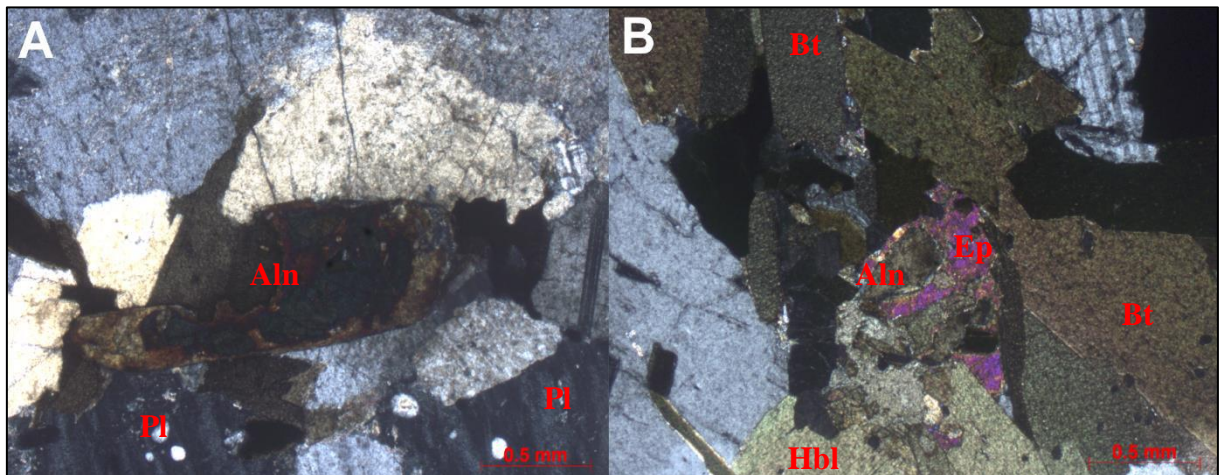


Figura 45: Fotomicrografia de cristais de allanita. (A) Cristal de allanita zonado, causando faturamento nos cristais vizinhos, vista em LPC. (B) Cristal de allanita circundado por epidoto em um agregado máfico.

O zircão é também um mineral acessório que ocorre com grande frequência incluso em constituintes essenciais e em alguns acessórios, quando na matriz possui cerca de 0,2 mm. Ocorre com hábito granular a prismático, sendo subédrico a anédrico, mostrando contatos arredondados a retos, geralmente encontrados inclusos em plagioclásio (Figura 46), biotita, hornblenda e titanita.



Figura 46: Fotomicrografia destacando um cristal de zircão, circulado em vermelho, incluso no plagioclásio.

Em relação ao epidoto, apesar de ocorrer como mineral secundário (Figura 40) em diversos casos, ele também ocorre como mineral primário formado a partir da cristalização do magma. Seus cristais têm hábito granular, fazendo contato sinuoso com os minerais adjacentes, medindo, em média, 0,75 mm, ocorrendo fraturados e também associados a allanita (Figura 45B).

Os minerais opacos apresentam hábito granular, com grau de desenvolvimento subédrico a anédrico, apresentando contatos retos a sinuosos com os demais minerais, com dimensão média de 0,5 mm. Os opacos ocorrem localmente na rocha, sendo geralmente associados com agregados máficos. Além disso, uma das feições características relacionadas com os minerais opacos é a desestabilização para titanita, devido ao alto teor de TiO_2 presente nesses cristais, o que permite a substituição destes (Figura 38). Os opacos que geralmente encontram-se relacionados com a titanita também apresentam uma textura esquelética, que pode ser causada por resfriamento rápido (Figura 47).

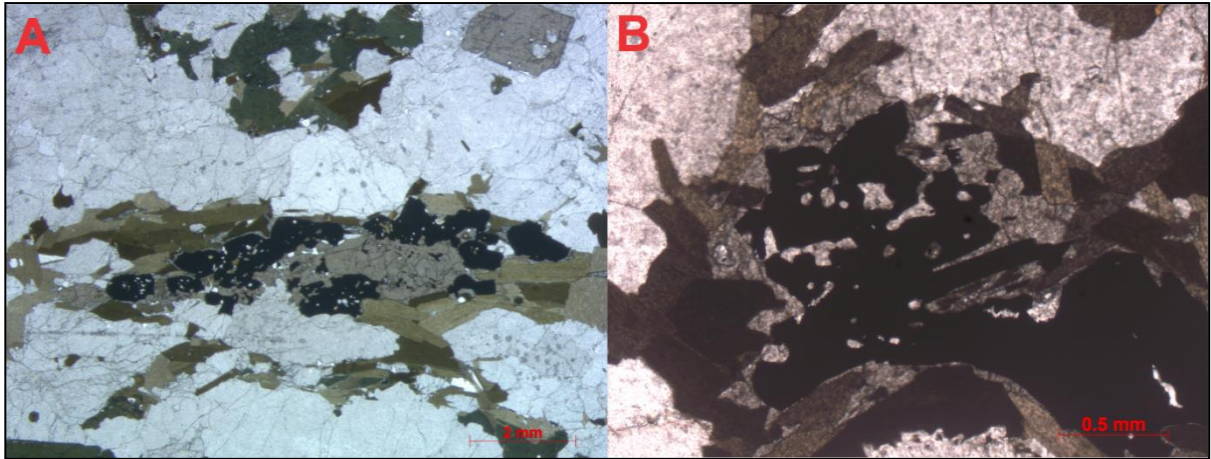


Figura 47: Fotomicrografias do Ortognaisse Estrela apresentando minerais opacos com textura esquelética associados a titanita.

A classificação petrográfica do Ortognaisse Estrela foi feita com base na porcentagem modal (Tabela 9), obtida através de 800 pontos, dos minerais descritos anteriormente, que compõem a associação mineral da rocha. Desta maneira, o protólito do ortognaisse tem composição variando de granodiorito a tonalito, conforme o diagrama QAP da figura 48 (Streckeisen, 1976).

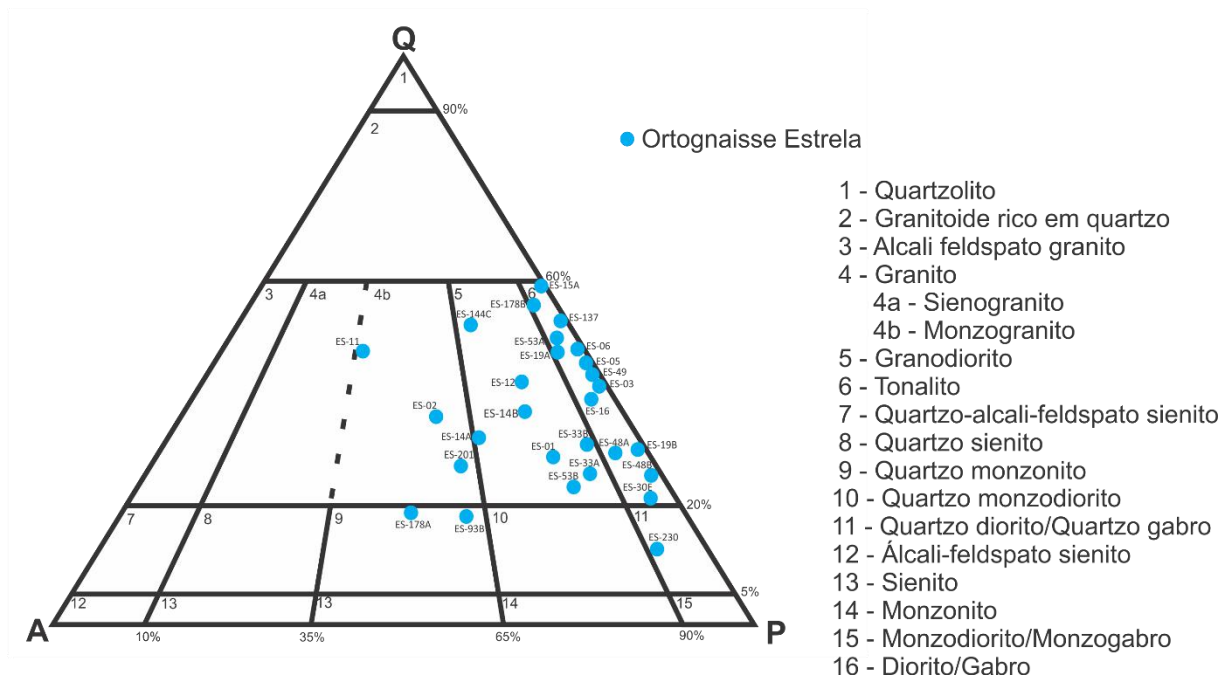


Figura 48: Diagrama QAP apresentando a classificação composicional do Ortognaisse Estrela variando de granodiorito a tonalito, a exceção de alguns pontos relativos a porções migmatizadas, assim apresentando diferentes classificações no gráfico (Streckeisen, 1976).

Tabela 9 – Tabela de porcentagem modal do Ortognaisse Estrela

Minerais Lâminas	Plagioclásio	Quartzo	Microclina	Biotita	Hornblenda	Apatita	Allanita	Titanita	Opacos	Zircão	Epidoto	Outros	Classificação
ES-01	50,20%	25,10%	13,30%	7,50%	0,80%	0,20%	-	-	1,30%	0,10%	-	1,50%	Granodiorito
ES-02	29,90%	30,20%	24,10%	9,00%	4,50%	0,20%	0,20%	0,20%	0,50%	0,20%	-	1,00%	Monzogranito
ES-03	41,20%	30,30%	0,60%	16,30%	7,30%	1,00%	0,30%	1,00%	1,30%	0,20%	-	0,50%	Tonalito
ES-05	40,80%	32,70%	-	18,30%	2,20%	0,30%	0,30%	1,10%	3,50%	0,20%	-	0,60%	Tonalito
ES-06	41,30%	38,10%	1,00%	12,70%	4,50%	0,30%	-	0,60%	0,20%	0,10%	-	1,20%	Tonalito
ES-11	17,70%	43,80%	31,90%	5,30%	0,20%	-	-	0,10%	0,20%	0,40%	-	0,40%	Monzogranito
ES - 12	35,20%	32,50%	11,00%	13,20%	6,60%	0,10%	-	1,30%	0,10%	-	-	-	Granodiorito
ES-14A	40,60%	30,00%	20,60%	5,60%	2,40%	0,50%	-	-	0,10%	-	-	0,20%	Granodiorito
ES - 14B	41,50%	31,10%	13,60%	9,10%	1,40%	-	-	3,00%	-	-	-	0,30%	Granodiorito
ES-15A	30,10%	45,00%	-	13,30%	9,80%	-	-	0,50%	0,70%	0,30%	-	0,30%	Tonalito
ES-16	42,80%	27,10%	3,00%	19,20%	2,70%	-	0,10%	2,20%	1,00%	1,00%	-	0,90%	Tonalito
ES - 19A	37,30%	35,80%	3,90%	10,50%	10,60%	-	-	0,50%	0,80%	-	0,60%	0,60%	Tonalito
ES - 19B	42,20%	18,30%	0,40%	21,20%	17,40%	-	-	0,10%	-	0,10%	-	0,30%	Tonalito
ES-30E	63,00%	17,70%	3,50%	13,60%	1,30%	-	-	-	0,30%	-	-	0,60%	Tonalito
ES - 33A	48,80%	24,40%	8,60%	13,50%	3,40%	-	-	0,60%	0,10%	0,20%	0,10%	0,30%	Granodiorito
ES-33B	46,70%	25,80%	7,10%	12,70%	7,00%	-	-	0,50%	0,20%	-	-	-	Granodiorito
ES-48A	49,80%	23,70%	3,30%	15,70%	5,30%	-	0,10%	0,50%	1,00%	0,20%	-	0,40%	Tonalito
ES-48B	65,10%	25,00%	2,30%	6,10%	1,00%	0,10%	-	-	0,20%	0,20%	-	-	Tonalito
ES-49	43,60%	29,50%	0,90%	7,60%	17,30%	-	-	0,90%	-	-	-	0,20%	Tonalito
ES-53A	40,20%	38,20%	2,60%	8,60%	7,10%	-	-	0,50%	1,70%	0,50%	-	0,60%	Tonalito
ES-53B	48,50%	17,20%	11,50%	12,60%	9,50%	0,00%	-	0,20%	0,30%	-	-	0,20%	Granodiorito
ES-93B	33,00%	11,70%	21,20%	21,90%	7,50%	-	-	3,60%	0,60%	0,10%	-	0,40%	Quartzo monzonito
ES - 137	40,40%	44,40%	1,80%	11,00%	2,20%	-	-	-	-	0,20%	-	-	Tonalito
ES-144C	33,20%	38,60%	14,20%	13,50%	-	-	-	0,10%	0,40%	-	-	-	Granodiorito
ES - 178A	37,60%	17,70%	37,60%	3,70%	2,50%	-	0,20%	-	0,60%	0,10%	-	-	Quartzo Monzonito
ES-178B	31,40%	43,80%	3,60%	13,60%	6,60%	-	-	0,20%	-	0,80%	-	-	Tonalito
ES-201	38,10%	24,70%	24,60%	11,10%	1,20%	-	-	0,10%	0,20%	-	-	-	Monzogranito
ES-230	61,20%	9,30%	5,80%	12,10%	10,60%	-	-	0,10%	0,30%	0,10%	-	0,50%	Quartzo Diorito

6.2. Leucogranito

Ao microscópio, o Leucogranito apresenta índice de cor variando de 6% a 9%, portanto, sendo classificado como hololeucocrático. Em relação à textura da rocha, ela é inequigranular porfirítica contendo cerca de 20% de fenocristais de microclina medindo entre 3,5 e 5,0 mm de comprimento. Já a matriz do Leucogranito é equigranular hipidiomórfica de granulação média, com os cristais medindo entre 1,0 e 2,0 mm. Sua estrutura é isotrópica, portanto, não sendo visível orientação preferencial dos minerais que o compõe (Figura 49).

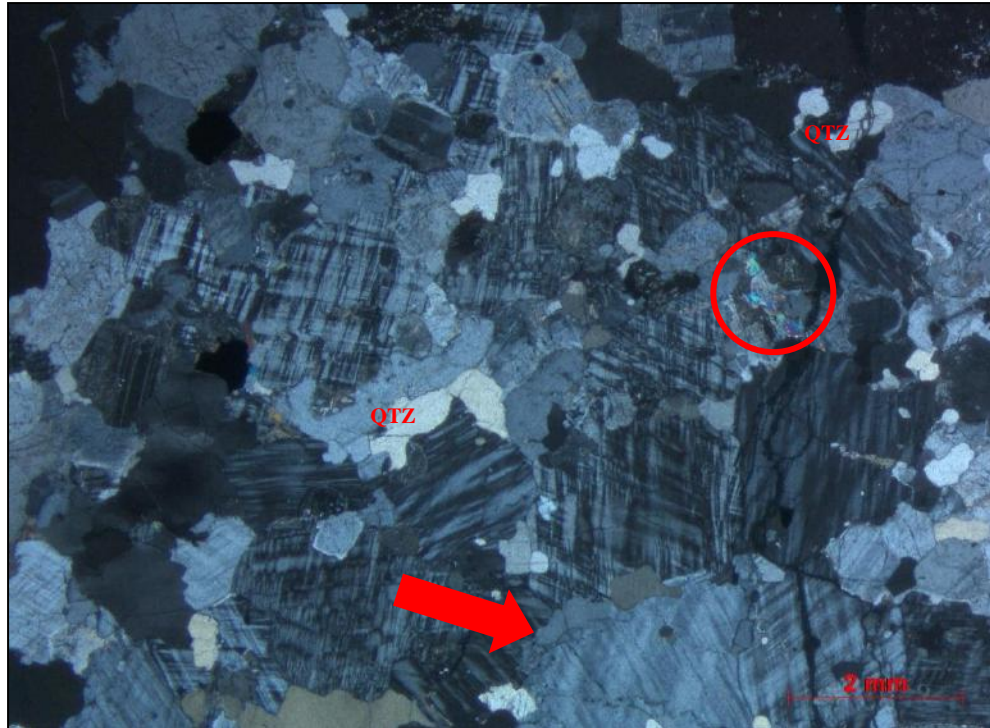


Figura 49: Fotomicrografia do Leucogranito em LPC expando a textura da rocha (inequigranular porfirítica), com fenocristais de microclina (apontado pela seta vermelha), além da alteração da microclina para mica branca circulada em vermelho.

Em relação à mineralogia, como minerais essenciais ocorrem, microclina, quartzo e plagioclásio, os minerais acessórios são hornblenda, biotita, allanita, opacos e zircão. E além desses em alguns pontos da lâmina também é possível identificar a ocorrência de minerais secundários, como biotita, mica branca e clorita.

A microclina, mineral mais abundante presente no Leucogranito, ocorre tanto como fenocristal com dimensão média de 4,0 mm e subédricos, assim como, componente da matriz medindo 1,5 mm e anédrica (Figura 49), apresentando geralmente sua geminação característica (Tartan), com hábito tabular e contatos sinuosos (Figura 49). Além disso, em alguns pontos quando em contato com cristais de plagioclásio há ocorrência de textura mirmequítica (Figura 50). A microclina contém inclusões de biotita, zircão e opacos, e altera para caulinita e mica branca (figuras 49 e 50). Intercrescimento pertítico é observado em alguns cristais.



Figura 50: Fotomicrografia do Leucogranito em LPC apresentando textura mirmequítica ao centro da figura. Além de evidenciar a alteração da microclina para mica branca na porção circulado em vermelho.

Em relação aos cristais quartzo, são constituintes da matriz variando entre 0,5 e 3,5 mm, com hábito granular, grau de desenvolvimento anédrico e contatos sinuosos. Além disso, ocorrem fraturados e com inclusões de plagioclásio, zircão, biotita e opacos, e pode também apresentar recristalização evidenciada por extinção ondulante.

O plagioclásio nessa rocha ocorre como constituinte da matriz com cerca de 1,0 a 1,5 mm, subédrico e geralmente apresentando geminação polissintética. Em relação à morfologia desses cristais, o hábito é tabular a granular com contatos sinuosos. Além disso, o plagioclásio apresenta inclusões de zircão e opacos, e assim como a microclina altera para sericita e caulinita. Outra feição importante é a ocorrência da textura mirmequítica nos contatos com a microclina (Figura 50).

Em relação aos minerais acessórios que compõem a rocha, são encontrados sobretudo como inclusões nas fases principais, porém também como cristais isolados na matriz.

A biotita é um dos constituintes da matriz dessa rocha medindo entre 0,5 e 1,75 mm, geralmente encontrada agregada a outros minerais máficos. Ela geralmente apresenta cor marrom com pleocroísmo variando de castanho claro a castanho escuro e em LPC os característicos *bird's eyes*, sendo seu hábito lamelar, com grau de desenvolvimento subédrico e contatos retos. Além disso, possui inclusão de zircão e opacos, e altera para clorita (mineral de cor verde, com cor de interferência azul anômala).

Outro mineral acessório que compõe o Leucogranito é a hornblenda, a qual apresenta cor verde com pleocroísmo variando de verde a castanho, clivagem bem marcada em duas direções ($60^{\circ}/120^{\circ}$) e cerca de 1,0 mm de comprimento. Apresenta hábito prismático, com grau de desenvolvimento subédrico e contatos retos a sinuosos, além de possuir inclusão de minerais opacos e alterar para biotita, com a qual ocorre agregada em diversos pontos.

A allanita possui cor castanha, com pleocroísmo variando de castanho claro a castanho escuro, com a presença de halos negros no contorno do mineral. São cristais prismáticos medindo entre 0,3 e 0,5 mm, subédricos e com contatos retos. No geral ocorre dispersa na rocha e também muito comumente como inclusão nas fases principais. Além disso, ela é caracterizada por causar faturamento nos minerais vizinhos devido à metamictização e também se apresenta zonada.

Outros acessórios que constituem o Leucogranito são os opacos, que apresentam hábito granular, subédricos a anédricos, apresentando contatos retos a sinuosos com os demais minerais e medem cerca de 0,5 mm de comprimento.

O zircão, que ocorre como um mineral traço no Leucogranito, é geralmente encontrado incluso em constituintes essenciais e em alguns acessórios, com cerca de 0,5 mm. Apresenta hábito prismático a granular, grau de desenvolvimento subédrico a anédrico e contatos sinuosos.

A classificação petrográfica do Leucogranito foi feita com base na porcentagem modal (Tabela 10), obtida através de 800 pontos, dos minerais descritos anteriormente, que compõem a associação mineral da rocha. Desta maneira, o Leucogranito tem composição variando de sienogranito a monzogranito, conforme o diagrama QAP da figura 51 (Streckeisen, 1976).

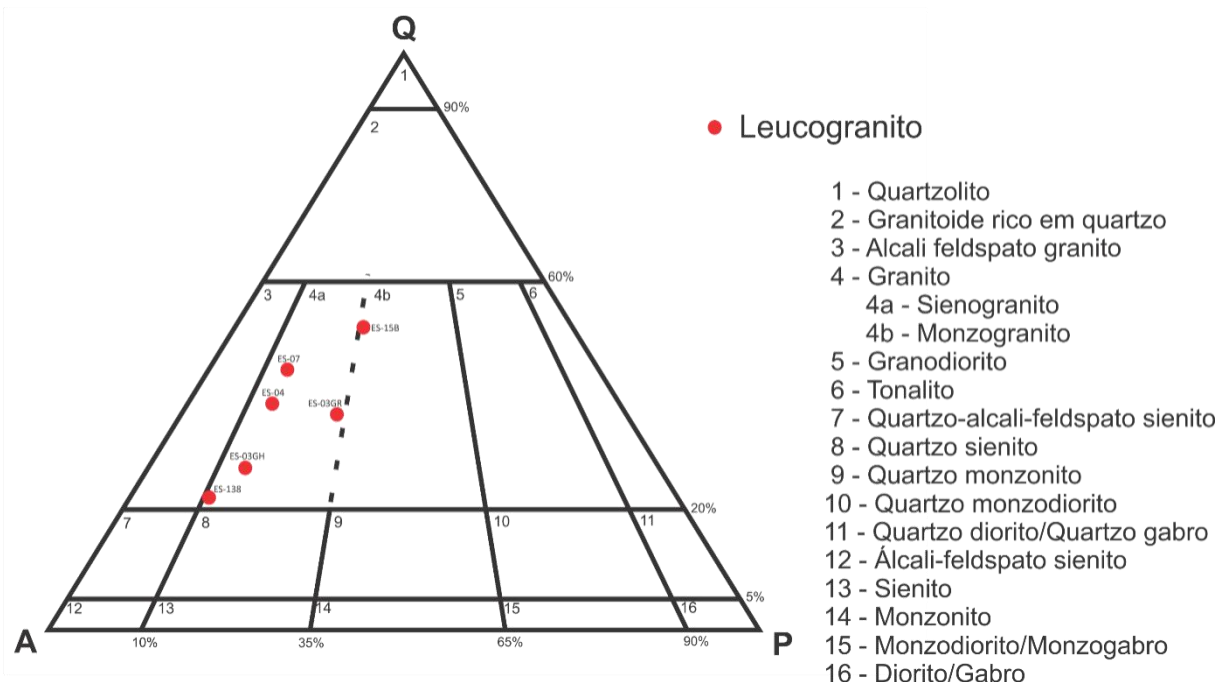


Figura 51: Diagrama QAP apresentando a classificação composicional do Leucogranito variando de sienogranito a monzogranito (Streckeisen, 1976).

Tabela 10 – Tabela de porcentagem modal do Leucogranito

Minerais Lâminas	Plagioclásio	Quartzo	Microclina	Biotita	Hornblenda	Apatita	Allanita	Titanita	Opacos	Zircão	Outros	Classificação
ES-03GR	19,80%	35,60%	41,10%	2,00%	-	-	-	0,10%	1,10%	-	0,30%	Sienogranito
ES-03GH	13,50%	27,70%	54,50%	1,78%	0,90%	-	0,10%	-	0,10%	-	1,42%	Sienogranito
ES-04	11,60%	38,00%	48,50%	0,70%	-	0,20%	-	-	-	0,10%	0,90%	Sienogranito
ES-07	9,10%	41,10%	46,80%	2,00%	-	0,50%	-	-	-	-	0,50%	Sienogranito
ES - 15B	16,50%	46,60%	30,50%	3,80%	2,20%	-	-	-	0,10%	0,10%	0,20%	Monzogranito
ES-138	8,20%	23,10%	68,50%	0,20%	-	-	-	-	-	-	-	Sienogranito

6.3. Titanita granito

Ao microscópio, o Titanita granito apresenta índice de cor de 30%, portanto, trata-se de uma rocha leucocrática e isotrópica. Possui textura inequigranular porfirítica contendo fenocristais de microclina medindo até 3,0 mm de comprimento, como o da figura 52. Em relação à matriz, é equigranular hipidiomórfica de granulação média, com os cristais medindo em média de 0,5 mm a 0,75 mm.

Os minerais essenciais identificados no Titanita granito são microclina, plagioclásio, quartzo e biotita e os minerais acessórios são titanita, apatita, zircão, allanita e opacos. E em alguns casos também é possível identificar minerais secundários, sendo visível em diversas

lâminas caulinita e sericita como produtos de alteração dos feldspatos, e mica branca e clorita como alteração da biotita.

Abordando as características de cada mineral, a microclina, mineral mais abundante presente na rocha, ocorre tanto como fenocristal com cerca de 3,0 mm e euédrico (Figura 52) como componente da matriz com cerca de 0,5 mm e subédrico. Geralmente é caracterizada por apresentar geminação tartan, além de exibir hábito tabular e contatos retos a sinuosos. Além disso, quando em contato com cristais de plagioclásio há ocorrência de textura mirmequítica, como vê-se na figura 53. E também contém inclusões de apatita, zircão, biotita e opacos (Figura 52 e 53), e altera para sericita e caulinita.



Figura 52: Fotomicrografia do titanita-granito em LPC com detalhe para o fenocristal de microclina medindo 3,0 mm de comprimento, subédrico e com inclusão de biotita circulada em vermelho.



Figura 53: Fotomicrografia do titanita-granito em LPC apresentando textura mirmequítica, e inclusão de zircão na microclina, ambos destacados em vermelho, além de cristais de feldspato alterados para sericita e caulinita, circulados em amarelo.

Quanto aos cristais de quartzo, esses são constituintes da matriz com cerca de 0,5 mm de comprimento, apresentando hábito granular e intersticial (Figura 54) com grau de desenvolvimento anédrico e contatos sinuosos. Além disso, ocorrem fraturados e com inclusão de apatita e zircão.



Figura 54: Fotomicrografia do titanita-granito em LPC exibindo cristais de quartzo com hábito granular e feldspatos alterados para caulinita.

O plagioclásio está presente na matriz da rocha, medindo cerca de 0,5 mm, subédrico e geralmente apresentando geminação polissintética. Ocorre com hábito tabular e contatos sinuosos. Além disso, assim como na microclina, é visível em determinados pontos alteração para sericita e caulinita, como pode ser visto na figura 53 circulado em amarelo, e com inclusão de opacos. Outra feição característica é a textura mirmequítica, nos contatos com a microclina.

A biotita é outro mineral que compõe a matriz do Titanita granito, medindo em média 0,5 mm. Ela geralmente apresenta cor marrom com pleocroísmo variando de marrom escuro a marrom claro, apresentando seu característico hábito lamelar com grau de desenvolvimento subédrico e contatos retos. Além disso, apresenta inclusão de zircão, allanita e apatita, e altera para clorita (mineral de cor verde, com cor de interferência azul anômala).

Em relação aos minerais acessórios que compõem a rocha, são encontrados sobretudo como inclusões nas fases principais, porém também como cristais isolados na matriz.

A titanita é o mineral acessório mais abundante nessa rocha, ocorrendo de duas maneiras distintas, uma delas com hábito prismático, euédrico (Figura 55) indicando que provavelmente trata-se de um mineral primário, formado a partir do magma, e a outra sob a forma de cristais granulares, anédricos (Figura 55), indicando uma formação posterior à cristalização do magma. Encontra-se na matriz da rocha, medindo por volta de 0,5 mm a 0,75mm, possuindo cor castanha e pleocroísmo de castanho claro a escuro. Além disso, inclusões de zircão e apatita são observadas na titanita primária.



Figura 55: Fotomicrografia do titanita-granito em LPP mostrando cristais de titanita bem formados (circulados em vermelho) e outros anédricos (circulados em amarelo).

A apatita é um mineral traço no Titanita granito, sendo um dos constituintes da matriz com cerca de 0,25 mm de comprimento, apresentando hábito granular e contatos sinuosos, além de ocorrer frequentemente inclusa nas fases principais e na titanita.

O zircão com cerca de 0,25 mm de comprimento está geralmente incluído em cristais de biotita e titanita, porém também em outras fases essenciais. Apresenta hábito prismático a granular com grau de desenvolvimento subédrico a anédrico e contatos sinuosos.

A allanita possui cor castanha, com pleocroísmo variando de castanho claro a castanho escuro, com a presença de halos negros no contorno do mineral. São cristais de hábito granular medindo 0,75 mm, anédricos e com contatos sinuosos. No geral ocorre incluída nos feldspatos e associada à biotita. Além disso, ela é caracterizada por causar faturamento nos minerais vizinhos devido à metamictização.

Os minerais opacos apresentam hábito prismático a granular, com grau de desenvolvimento subédrico a anédrico, apresentando contatos retos a sinuosos com os demais minerais e medem cerca de 0,8 mm de comprimento.

A classificação petrográfica do Titanita granito foi feita com base na porcentagem modal (Tabela 11), obtida através de 800 pontos, dos minerais descritos anteriormente, que compõem a associação mineral da rocha. Desta maneira, o Titanita granito tem composição de sienogranito, conforme o diagrama QAP da figura 56 (Streckeisen, 1976).

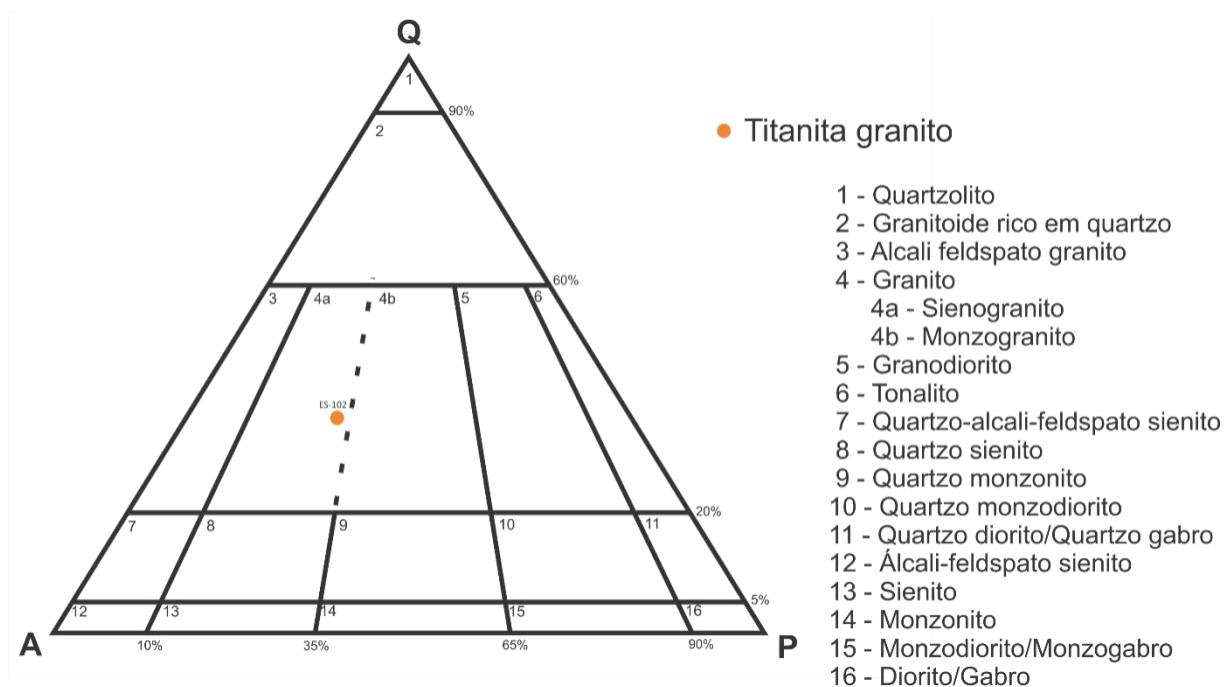


Figura 56: Diagrama QAP apresentando a classificação composicional do Titanita-granito, classificado como sienogranito (Streckeisen, 1976).

Tabela 11 – Tabela de porcentagem modal do Titanita granito

Minerais Lâminas	Plagioclásio	Quartzo	Microclina	Biotita	Hornblenda	Apatita	Allanita	Titanita	Opacos	Zircão	Outros	Classificação
ES-102	17,00%	30,70%	36,50%	9,90%	-	-	1,00%	2,50%	1,00%	0,90%	0,50%	Sienogranito

6.4. Diorito Alto Chapéu

Ao microscópio, o Diorito Alto Chapéu apresenta índice de cor variando entre 52% e 58%, sendo assim mesocrático. É uma rocha equigranular hipidiomórfica de granulação fina, isotrópica e com cristais medindo entre 0,5 e 1,0 mm (Figura 57).

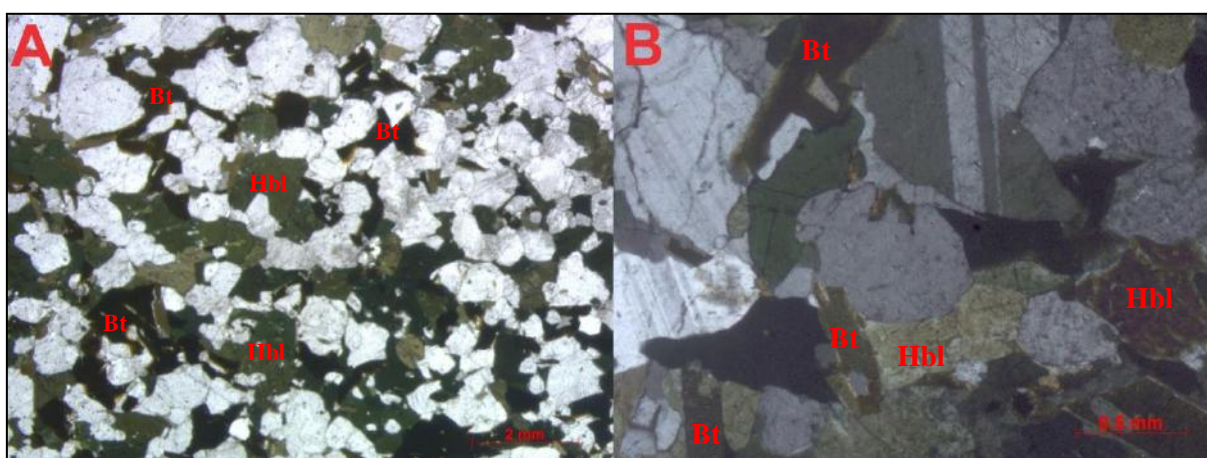


Figura 57: Fotomicrografias do aspecto geral do Diorito Alto Chapéu. A – Aspecto geral da rocha visualizado em LPP. B – Aspecto geral da rocha visualizado em LPC.

Quanto à mineralogia que compõe o Diorito Alto Chapéu, como minerais essenciais têm-se plagioclásio, biotita, hornblenda e quartzo e os minerais acessórios são titanita, apatita, zircão. Além desses, foram identificados minerais pós-magmáticos, clorita como produto de alteração da biotita e mica branca como produto da alteração do plagioclásio.

O plagioclásio é o mineral mais abundantes na rocha, com dimensões variando entre 0,3 e 1,0 mm, com grau de desenvolvimento subédrico e geminação polissintética. Além disso, apresenta hábito tabular e contatos retos, e também possui inclusão de apatita e localmente altera para mica branca.

A biotita possui cerca de 1,0 mm, tem geralmente cor marrom, com pleocroísmo variando de castanho claro a castanho escuro, exibindo hábito lamelar, com grau de desenvolvimento predominantemente subédrico e contatos retos. Além disso, ela apresenta inclusões de zircão e apatita e altera para clorita.

Em relação à hornblenda, ela coloração verde com pleocroísmo variando de verde claro a verde escuro e clivagem bem definida $60^\circ/120^\circ$, com dimensões de 0,5 a 1,0 mm. Além disso, possui hábito prismático a granular, subédrico a anédrico e contatos retos a sinuosos, e também apresenta inclusões de zircão e apatita, e em diversos casos é substituída por biotita.

O quartzo, mineral essencial que menos ocorre, apresenta de 0,5 mm a 0,75 mm de comprimento, exibindo hábito granular, com grau de desenvolvimento anédrico, e contatos sinuosos. Além disso, ocorre frequentemente fraturado e com extinção ondulante.

Quanto aos minerais acessórios que compõem a rocha, são encontrados sobretudo como inclusões nas fases principais, porém também como cristais isolados na matriz.

A titanita possui cor castanha com pleocroísmo variando de castanho claro a escuro e cerca de 0,7 mm de comprimento. Seus cristais apresentam hábito prismático (losangular), subédricos a anédricos e contatos retos a sinuosos.

O zircão possui em média 0,25 mm de comprimento e tem hábito prismático a granular, subédrico a anédrico e contatos retos, ocorrendo geralmente inclusos nas fases primárias.

A apatita é encontrada com cerca de 0,4 mm de comprimento, apresentando hábito prismático a granular, com grau de desenvolvimento euédrico a subédrico, fazendo contatos sinuosos, estando geralmente inclusa nas fases principais.

A classificação petrográfica do Diorito Alto Chapéu foi feita com base na porcentagem modal (Tabela 12), obtida através de 800 pontos, dos minerais descritos anteriormente, que compõem a associação mineral da rocha. Desta maneira, Diorito Alto Chapéu tem composição de Quartzo-diorito, conforme o diagrama QAP da figura 58 (Streckeisen, 1976).

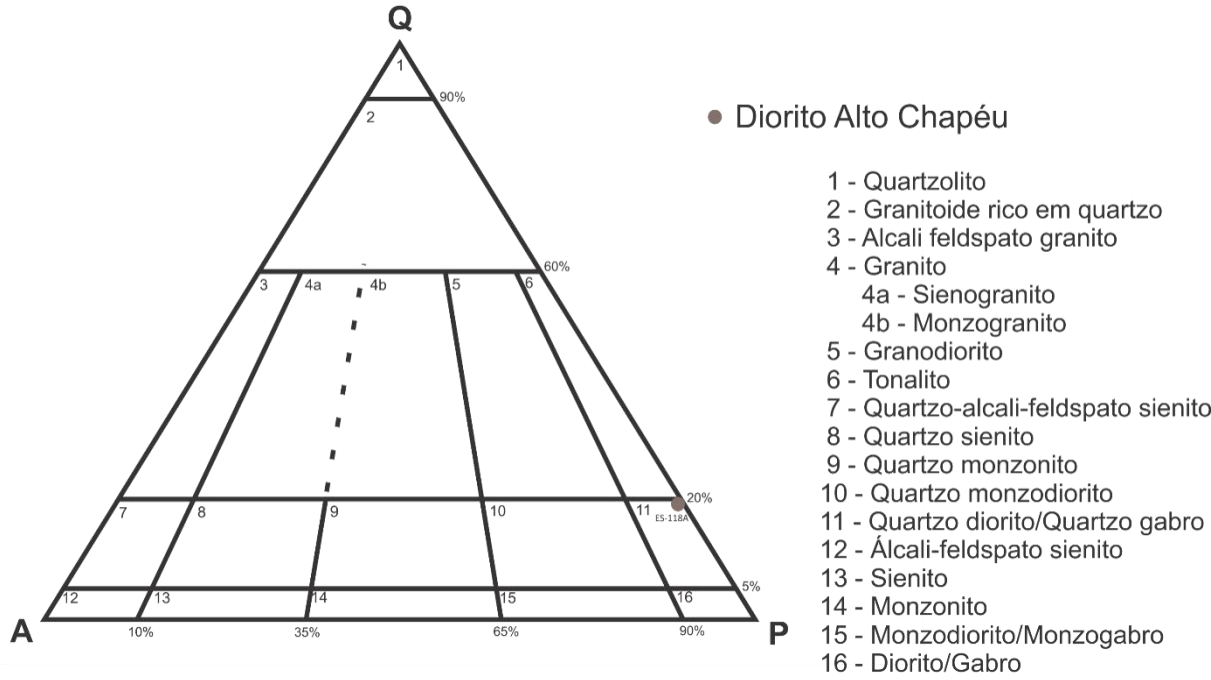


Figura 58: Diagrama QAP apresentando a classificação composicional do Diorito Alto Chapéu, classificado como Quartzo-diorito (Streckeisen, 1976).

Tabela 12 – Tabela de porcentagem modal do Diorito Alto Chapéu

Minerais	Plagioclásio	Quartzo	Microclina	Biotita	Hornblenda	Apatita	Allanita	Titanita	Opacos	Zircão	Outros	Classificação
Lâminas												
ES-118A	37,20%	9,20%	-	21,30%	29,30%	0,20%	-	0,90%	-	1,00%	0,90%	Quartzo Diorito

7. QUÍMICA MINERAL

Para a realização das análises químicas dos minerais foi utilizada a microsonda do laboratório Labsonda do Departamento de Geologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). O intuito dessas análises foi determinar a composição química dos minerais responsáveis por constituir o Ortognaisse Estrela e também analisar se eles apresentam alguma variação composicional dentro de um mesmo cristal. Essas análises permitiram determinar as condições de estabilidade de pressão e temperatura entre algumas associações minerais presentes na rocha e também de fugacidade de oxigênio.

Devido a problemas técnicos da microsonda, só foi possível a análise em minerais de três lâminas: ES - 03, ES - 05, ES - 06, sendo todas do Ortognaisse Estrela, como pode ser visto no Anexo B – Mapa de Pontos.

Foram analisados os seguintes minerais: anfibólio, biotita, epidoto, k-feldspato, ilmenita, magnetita e plagioclásio. Também foram escolhidos, o par anfibólio-plagioclásio, que trata-se dos minerais formados sob as condições de temperatura mais elevadas, e minerais opacos, devido ao re(equilíbrio) entre ilmenita e magnetita, como alvos para estudos geotermobarométricos.

As análises desses cristais foram feitas tanto nas bordas como nos núcleos dos mesmos cristais, e em alguns casos foram realizados perfis nesses minerais para analisar de forma mais detalhada a variação composicional dentro de um só cristal.

7.1. Anfibólio

Nas três lâminas que foram analisadas, foram feitos seis pontos tanto nos núcleos quanto nas bordas desses cristais, assim como seis perfis nos grãos mais bem preservados, totalizando assim doze cristais de anfibólio analisados. Tais dados, obtidos na microsonda, foram processados utilizando a planilha de classificação de Locock (2014), associada aos digramas de Hawthorne *et al.* (2012). Ao final do tópico pode-se observar na Tabela 13 dados representativos que foram obtidos.

Os cristais de anfibólio identificados no Ortognaisse Estrela são de hornblenda, sendo eles classificados como pargasita ou Mg-hornblenda, como pode ser visto na figura 59. Porém, observando-se as análises feitas no núcleo e na borda dos cristais, verifica-se, em todas as amostras, que a porção localizada no núcleo tende a apresentar uma composição pargasítica

enquanto a borda uma composição de Mg-hornblenda (Figura 60 e 61). Porém, não foram observadas discrepâncias composicionais entre diferentes cristais, o que permite afirmar que há uma certa uniformidade na composição química dos cristais de anfibólio do Ortognaisse Estrela.

Um discreto zoneamento núcleo-borda pode ser exemplificado pela amostra ES – 06 C7, que apresenta núcleo igual a SiO₂ 40,68%, TiO₂ 1,44%, Al₂O₃ 12,87%, MnO 0,49%, FeO 21,85%, MgO 6,98%, CaO 11,66%, Na₂O 1,12% e K₂O 1,41%, enquanto na sua borda a composição é SiO₂ 41,37%, TiO₂ 0,93%, Al₂O₃ 13,05%, MnO 0,45%, FeO 21,93%, MgO 6,93%, CaO 11,67%, Na₂O 0,87% e K₂O 1,23%.

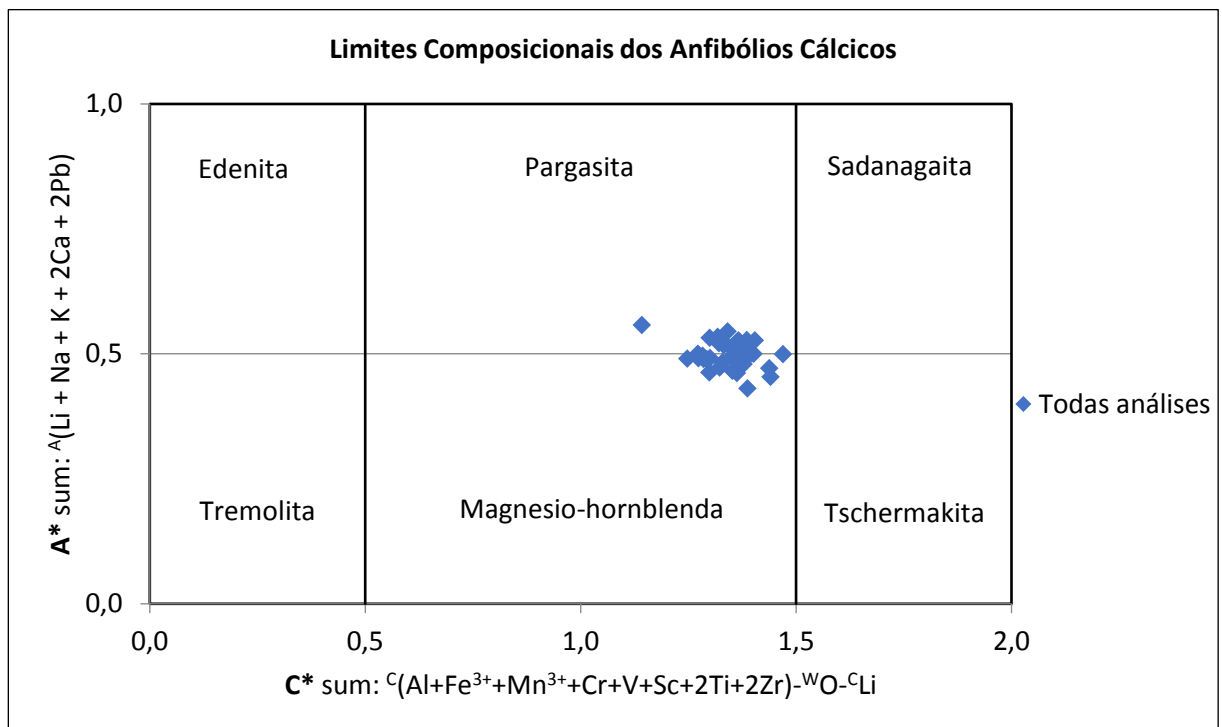


Figura 59: Diagrama classificatório de anfibólios cálculos do Ortognaisse Estrela (Hawthorne *et al.*, 2012).

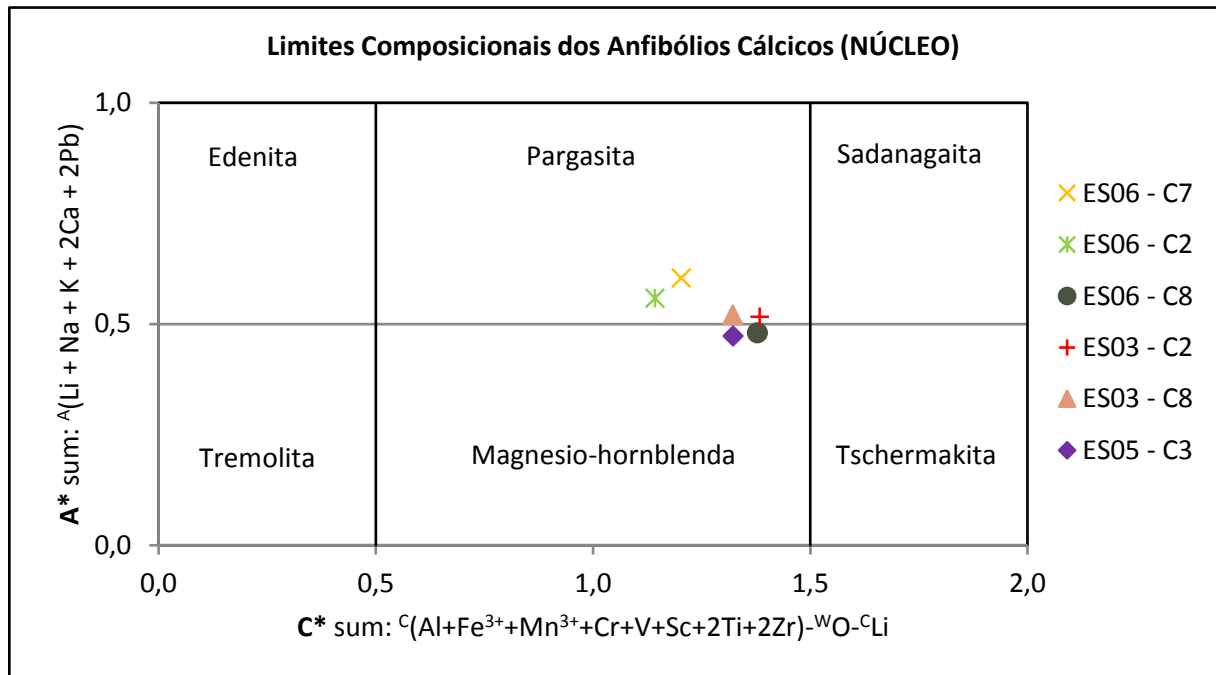


Figura 60: Diagrama classificatório do núcleo dos cristais de anfibólio cálcico do Ortognaisse Estrela (Hawthorne *et al.*, 2012).

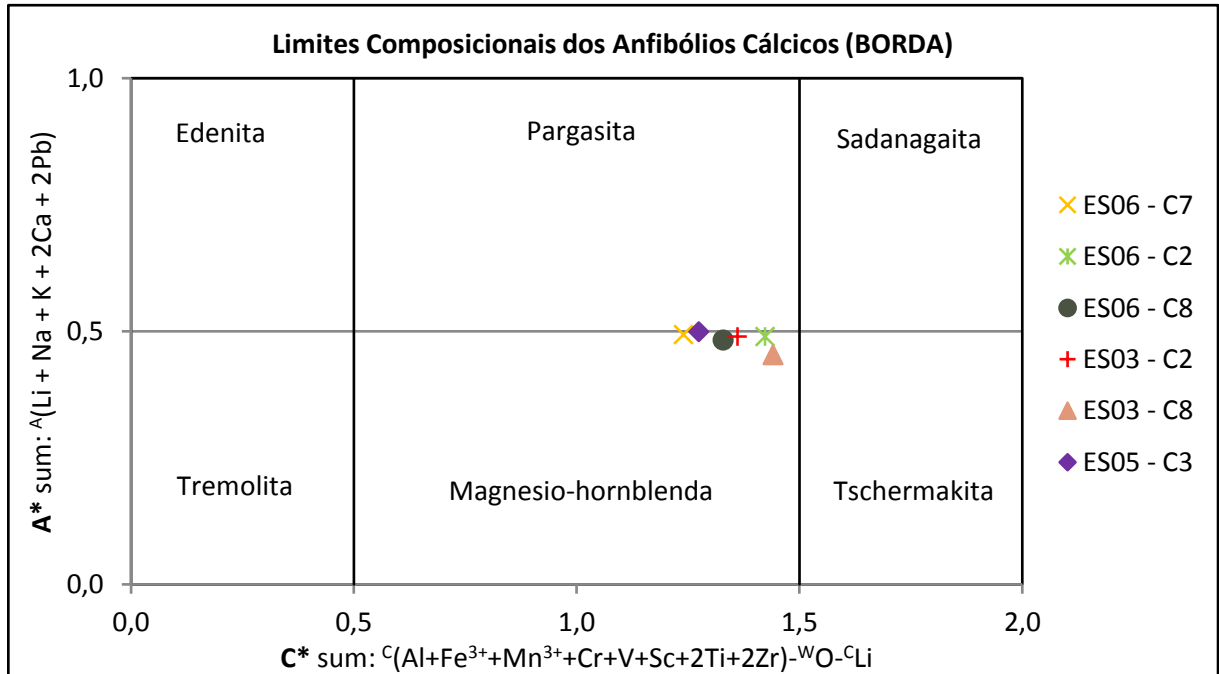


Figura 61: Diagrama classificatório da borda dos cristais de anfibólio cálcico do Ortognaisse Estrela (Hawthorne *et al.*, 2012).

No Gráfico $\text{Al}^{\text{IV}} \times \text{Al}^{\text{VI}}$ (Figura 62) é possível observar que os valores encontrados para Al^{IV} apresentam uma pequena variação, prevalecendo valores entre 1,7 e 1,85 apfu (átomo por fórmula unitária) tanto para análises feitas nos núcleos como nas bordas destes cristais de

anfíbólio. Quanto à proporção de Al^{VI} , varia aproximadamente entre 0,4 e 0,55 apfu. Dessa forma, é possível afirmar que tanto a variação de Al^{IV} (tetraédrico) como a de Al^{VI} (octaédrico) é muito semelhante nos vários cristais analisados, oscilando em média em torno de 0,15 apfu, porém é importante salientar que o Al^{IV} é mais abundante, possuindo valores mais expressivos,

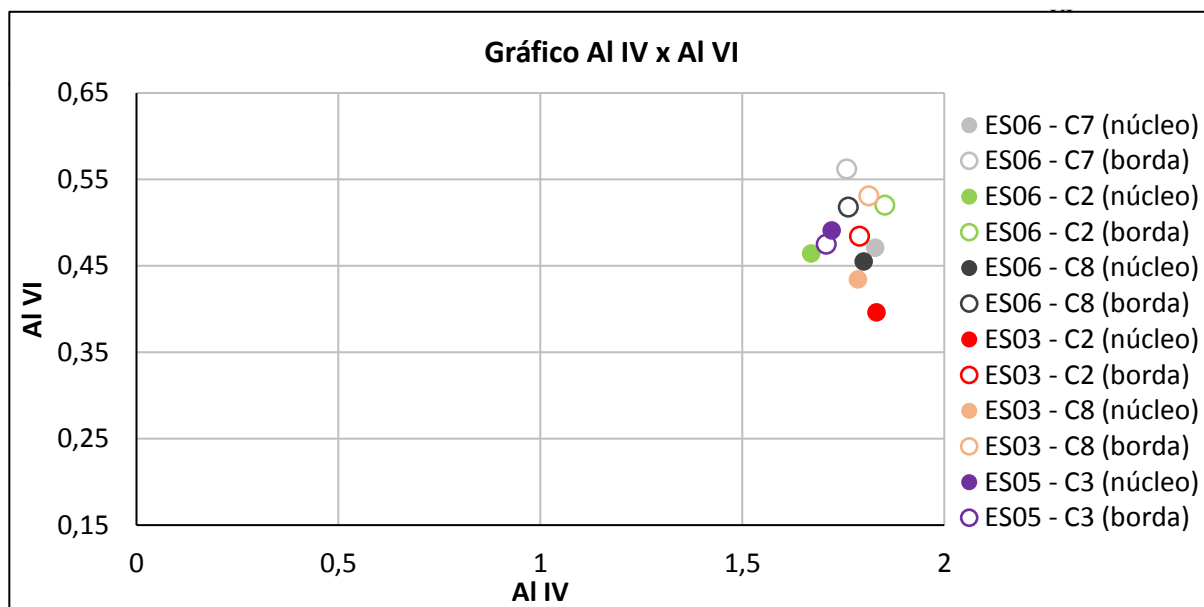
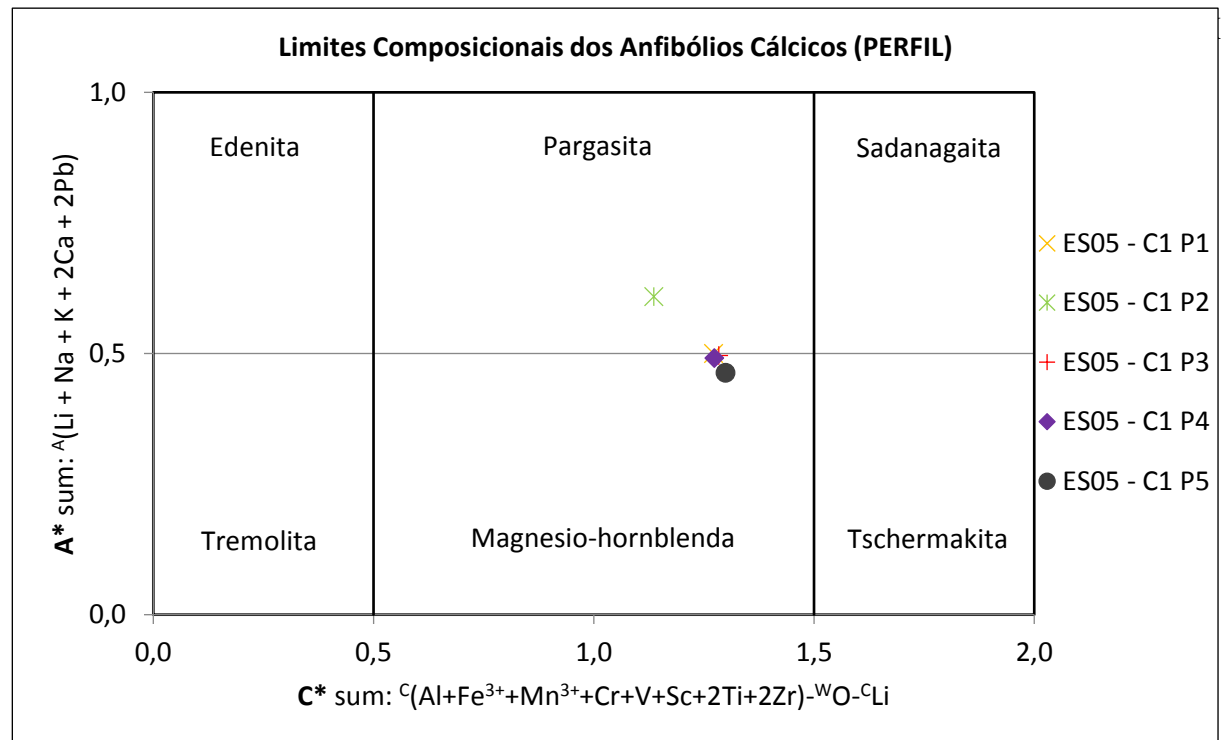
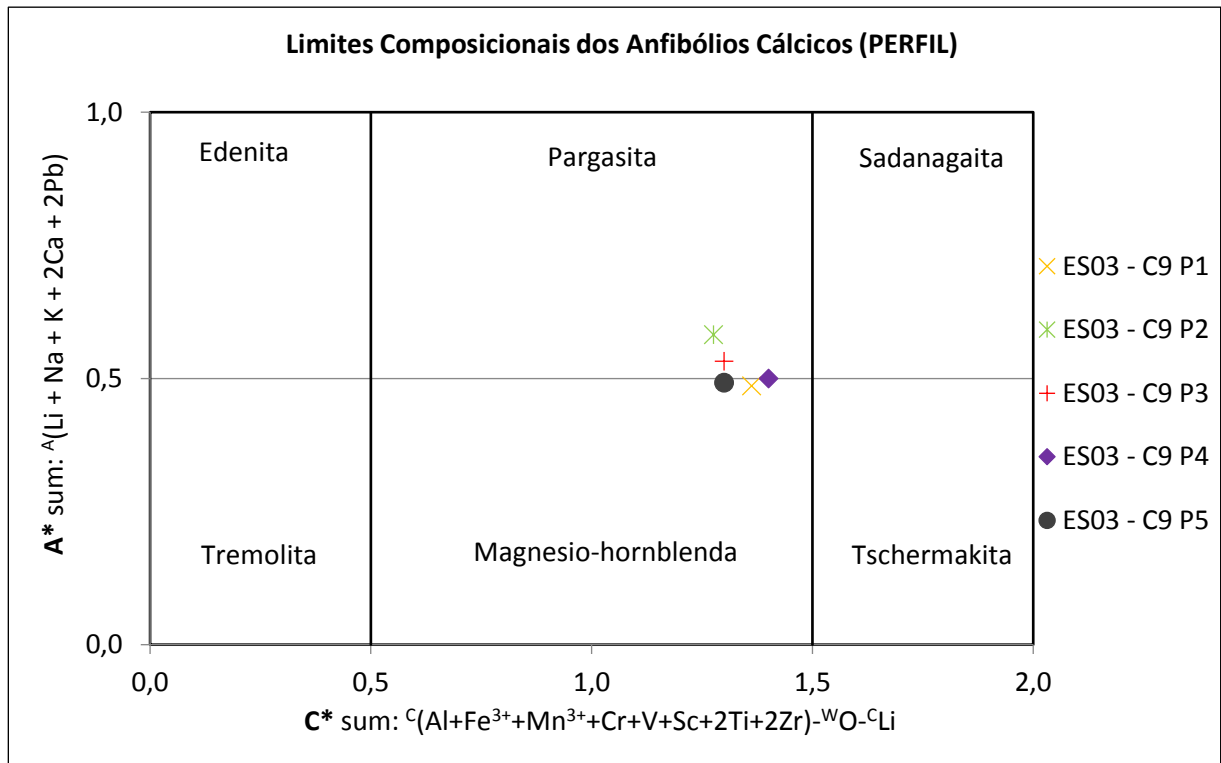


Figura 62: Gráfico Al^{IV} x Al^{VI} das análises de núcleo e borda dos cristais de anfíbólio.

Foram realizados diversos perfis composicionais, do núcleo até a borda de alguns cristais, sendo possível observar variações que indicam um sutil zoneamento composicional, corroborando com as análises de núcleo e borda apresentadas nas figuras 60 e 61. As figuras 63 e 64 ilustram esse comportamento nas análises ES-03 - C9 e ES05 - C1, onde é possível observar, exceto para o ponto P1, uma tendência de mudança composicional do campo da pargasita em direção ao campo da Mg-hornblenda quanto mais próximo da borda dos cristais, lembrando que P1 é o ponto realizado mais ao centro e P5 o mais afastado do centro.



7.1.1. Fugacidade de oxigênio

As análises químicas em cristais de anfibólio também permitem avaliar a fugacidade de oxigênio do magma durante a cristalização deste mineral, de acordo com a proposta de Anderson e Smith (1995). Como pode ser visto no gráfico da figura 65, a fugacidade de oxigênio associada à composição química dos anfibólios do Ortognaisse Estrela ($\text{Fe total}/(\text{Fe total} + \text{Mg})$ vs Al^{IV}) é considerada intermediária. Tal constatação contrasta com maiores valores de $f\text{O}_2$ esperados para rochas ígneas de assinatura cálcio-alkalina geradas em ambiente de arco magmático, como é o caso do Ortognaisse Estrela (Carvalho, 2020 e item 7.2 abaixo).

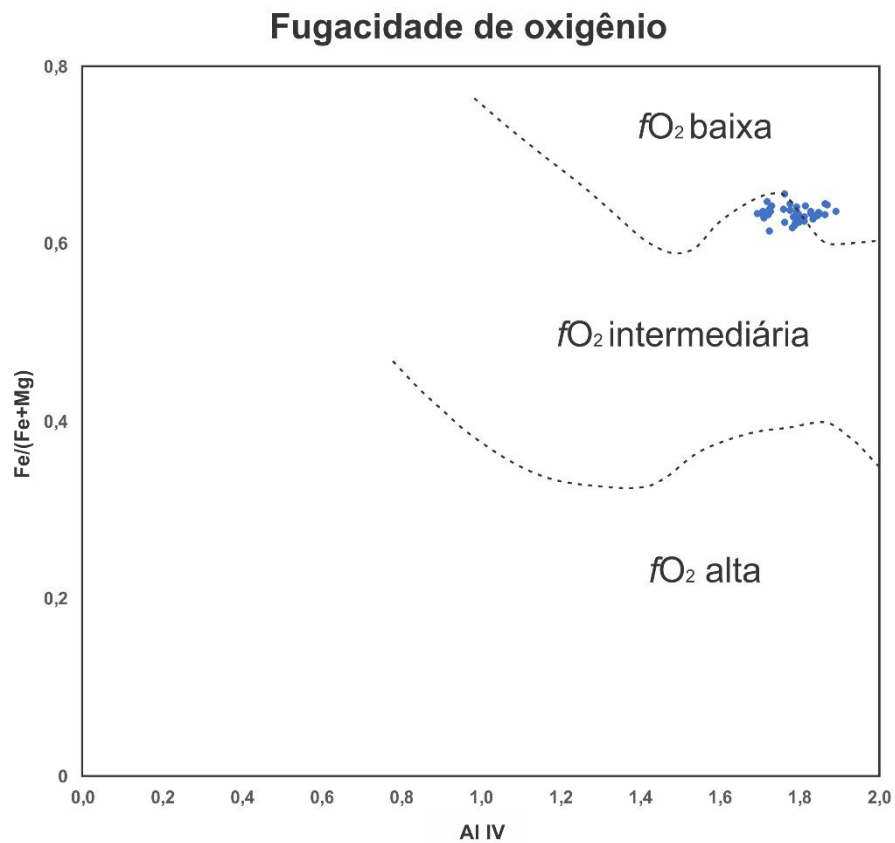


Figura 65: Diagrama que discrimina campos de fugacidade de oxigênio com base nos dados da química mineral dos cristais de anfibólio (Anderson e Smith, 1995).

Tabela 13 – Análises representativas e suas devidas fórmulas estruturais dos cristais de anfibólio do Ortognaisse Estrela

Amostra	ES - 06 C7		ES - 06 C2		ES - 06 C8		ES - 03 C2		ES - 03 C8		ES - 05 C3	
	Ortognaisse Estrela											
	núcleo	borda	núcleo	borda	núcleo	borda	núcleo	borda	núcleo	borda	núcleo	borda
SiO ₂	40,68	41,37	40,33	40,42	41,26	41,32	40,78	41,08	41,00	40,72	41,68	41,61
TiO ₂	1,44	0,93	1,64	1,31	1,52	1,44	1,65	1,59	1,65	1,40	1,55	1,25
Al ₂ O ₃	12,87	13,05	11,54	13,23	12,74	12,81	12,50	12,76	12,43	13,10	12,46	12,24
MnO	0,49	0,45	0,47	0,47	0,45	0,49	0,48	0,48	0,45	0,51	0,50	0,51
FeO	21,85	21,93	20,64	21,87	21,83	21,27	21,92	21,38	21,39	21,87	21,80	22,05
MgO	6,98	6,93	6,82	6,89	7,25	7,17	7,28	7,21	7,34	6,79	7,07	7,04
CaO	11,66	11,67	11,57	11,81	11,76	11,78	11,57	11,63	11,67	11,35	11,53	11,59
Na ₂ O	1,12	0,87	0,99	0,92	0,97	0,95	1,08	1,04	1,08	0,93	1,09	1,12
K ₂ O	1,41	1,23	1,43	1,36	1,32	1,33	1,38	1,28	1,35	1,36	1,19	1,22
Total	98,49	98,43	95,43	98,28	99,10	98,56	98,63	98,46	98,35	98,01	98,86	98,61
	Número de íons com base em 23 oxigênios											
Si	6,19	6,267	6,33	6,13	6,20	6,24	6,17	6,21	6,21	6,19	6,28	6,29
Ti	0,17	0,106	0,19	0,15	0,17	0,16	0,19	0,18	0,19	0,16	0,18	0,14
Al	2,31	2,33	2,13	2,37	2,255	2,28	2,23	2,27	2,22	2,34	2,21	2,18
Mn ²⁺	0,06	0,058	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,07	0,06	0,07
Fe ³⁺	0,37	0,43	0,29	0,63	0,58	0,48	0,61	0,52	0,51	0,59	0,48	0,52
Fe ²⁺	2,41	2,349	2,42	2,15	2,16	2,20	2,16	2,19	2,20	2,19	2,27	2,27
Mg	1,59	1,565	1,60	1,56	1,623	1,62	1,64	1,63	1,66	1,54	1,59	1,59
Ca	1,90	1,90	1,95	1,92	1,892	1,91	1,87	1,88	1,89	1,85	1,86	1,88
Na	0,33	0,256	0,30	0,27	0,283	0,28	0,32	0,31	0,32	0,27	0,32	0,33
K	0,27	0,237	0,29	0,26	0,253	0,26	0,27	0,25	0,26	0,26	0,23	0,24
Soma	15,603	15,493	15,558	15,490	15,479	15,484	15,516	15,490	15,521	15,456	15,473	15,498

7.2. Biotita

Nas três lâminas analisadas, foram feitos nove pontos tanto nos núcleos quanto nas bordas desses cristais, assim como dois perfis nos grãos de mais bem preservados, totalizando assim onze cristais de biotita analisados. Tais dados, obtidos na microsonda, foram processados utilizando o *software* MinPet (Richard, 1995), o qual, além de gerar as fórmulas estruturais também foi responsável pela produção dos gráficos de classificação da biotita (Deer *et al.*, 1992), porém os gráficos de filiação magmática de Nachit *et al.* (1985) e o de Abdel-Rahman (1994) foram produzidos no Excel. Ao final do tópico pode-se observar a Tabela 14 com dados representativos que foram obtidos.

É possível observar no gráfico de Al^{IV} por $Fe\ total/(Fe\ total + Mg)$ (Figura 66) que todos cristais de biotita presentes no Ortognaisse Estrela, analisados tanto no núcleo como na borda, plotam no campo da biotita, apresentando valores médios de Al^{IV} em torno de 2,2 apfu e de $Fe\ total/(Fe\ total + Mg)$ por volta de 0,6 apfu.

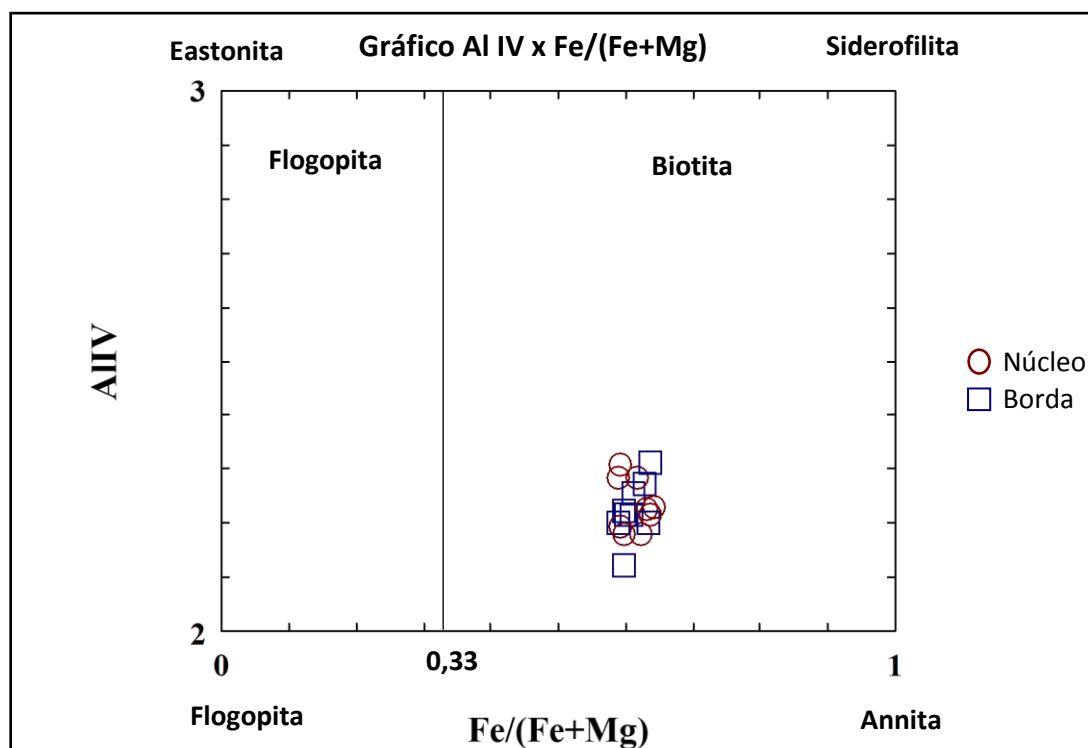


Figura 66: Diagrama classificatório da biotita, contendo análises de núcleo e borda dos cristais estudados, pertencentes ao Ortognaisse Estrela (Deer *et al.*, 1992).

Além das análises pontuais em núcleo e borda dos cristais de biotita, também foram obtidos dois perfis composicionais, sendo as análises desses perfis ilustradas no diagrama de Deer *et al.* (1992), sendo possível visualizar no perfil ES06 – C2 (Figura 67) que há uma constância da composição química do cristal analisado, assim concentrando todas análises

próximas aos valores médios encontrados para os de núcleo e borda do gráfico da figura 66, contendo cerca de 2,2 apfu de Al^{IV} e 0,6 apfu de $\text{Fe total}/(\text{Fe total} + \text{Mg})$. Já no perfil ES06 – C10 (Figura 68), é possível ver um sutil *trend* de mudança composicional, com diminuição do Al^{IV} em direção à borda e um leve enriquecimento em Fe, sendo o ponto P5, mais próximo a extremidade do cristal, o mais destacado desse *trend*.

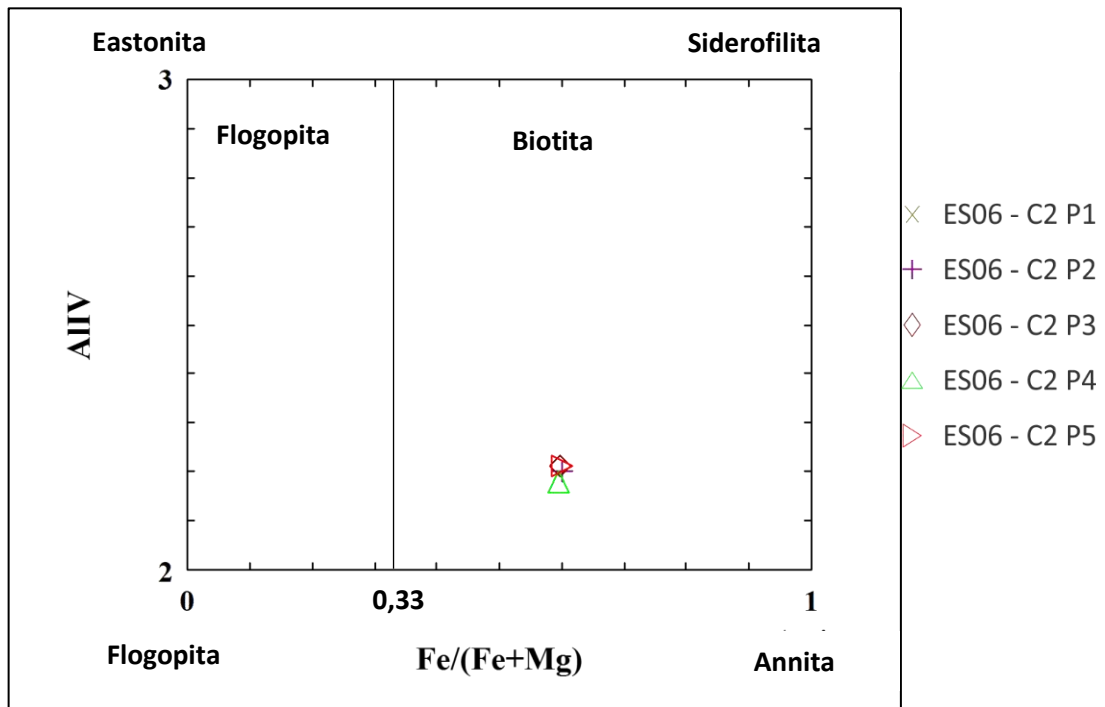


Figura 67: Diagrama classificatório da biotita, para o perfil ES06 – C2 (Deer *et al.*, 1992).

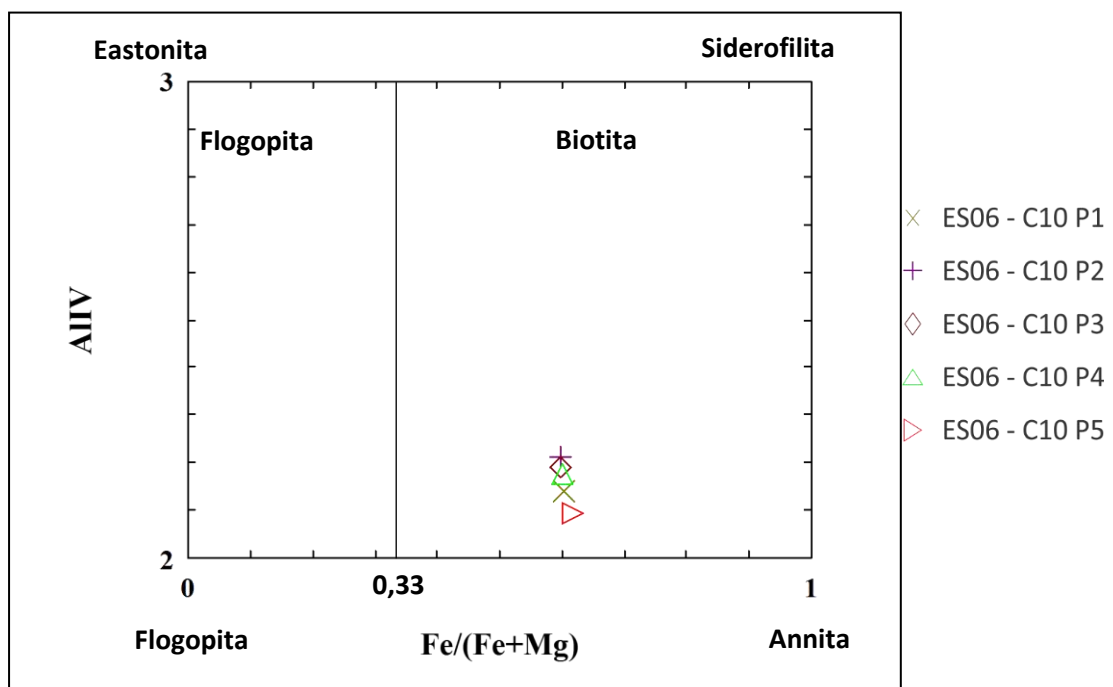


Figura 68: Diagrama classificatório da biotita, para o perfil ES06 – C10 (Deer *et al.*, 1992).

7.2.1. Filiação magmática

Análises de biotita também podem indicar filiação do magma responsável por gerar o Ortognaisse Estrela, através do diagrama de Nachit *et al.* (1985), Al total vs Mg. (Figura 69). Neste diagrama as análises de biotita obtidas ficam posicionadas no campo da série cálcio-alcalina, à exceção do ponto ES06 - C10 P5, que se encontra no campo peraluminoso (alumino-potássica).

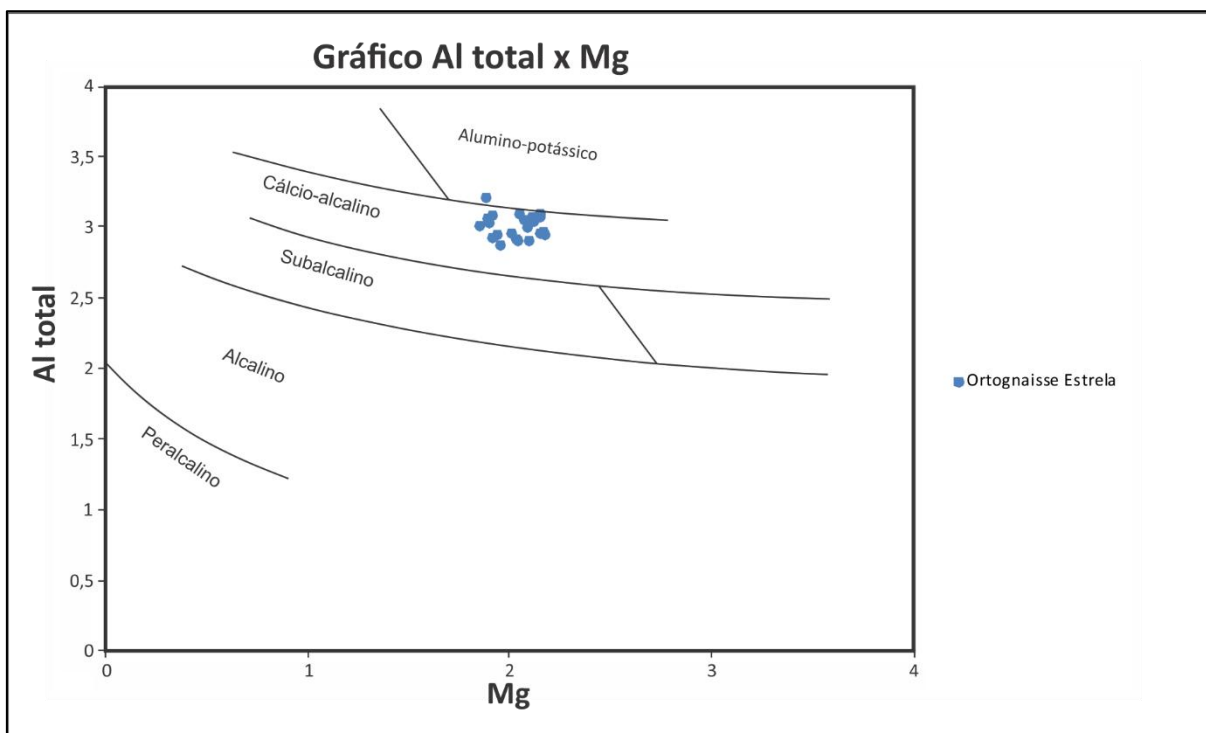


Figura 69: Gráfico Al total por Mg (Nachit *et al.*, 1985) evidenciando o caráter cálcio-alcalino do Ortognaisse Estrela.

Outro gráfico de classificação com base nos valores obtidos na análise química da biotita é o diagrama MgO x FeO de Abdel-Rahman (1994), que consiste em um diagrama discriminatório de suítes graníticas, sendo, portanto, subdividido em três campos; (A) magma alcalino, (C) magma cálcio-alcalino e (P) magma peraluminoso. Observa-se na figura 70 que praticamente todas amostras são classificadas como cálcio-alcalinas (C), corroborando o que foi ilustrado no diagrama da Figura 69. Da mesma maneira, a análise do ponto ES06 - C10 P5, plota no campo peraluminoso (P), o que indica ser um cristal com borda rica em Al.

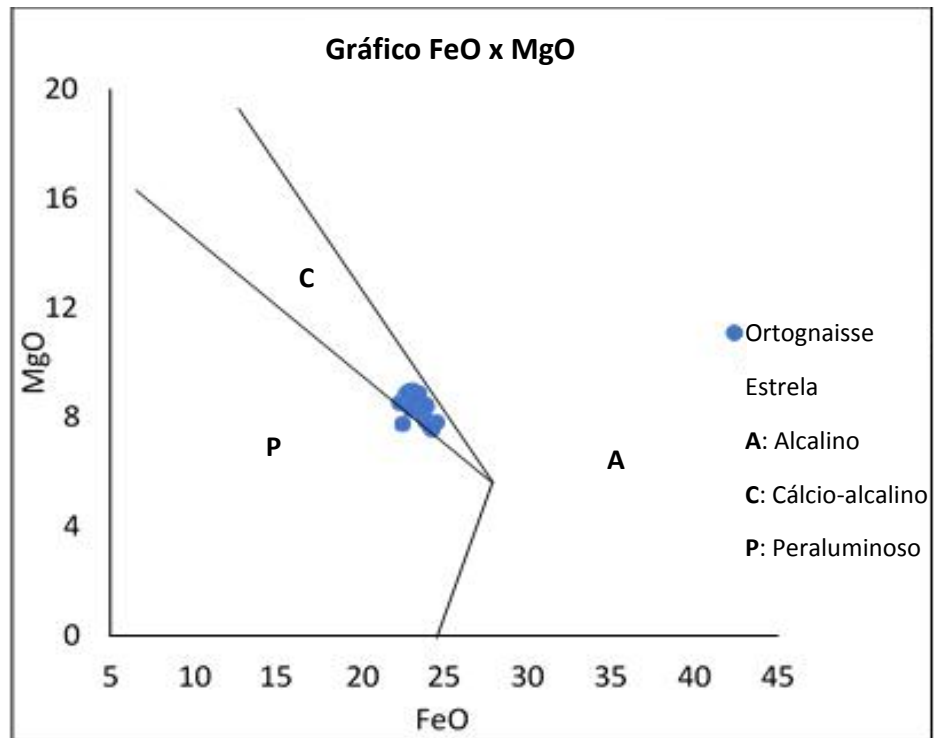


Figura 70: Gráfico FeO x MgO (Abdel-Rahman, 1994), reforçando o caráter cálcio-alcalino do Ortognaisse Estrela.

Tabela 14 – Análises representativas e suas devidas fórmulas estruturais dos cristais de biotita do Ortognaisse Estrela

Amostra	ES - 06 C9		ES - 03 C4		ES - 03 C6		ES - 03 C7		ES - 03 C8		ES -03 10		ES - 05 C1		ES - 05 C4		ES - 05 C7	
	Ortognaisse Estrela																	
	núcleo	borda	núcleo	borda	núcleo	borda	núcleo	borda	núcleo	borda	núcleo	borda	núcleo	borda	núcleo	borda	núcleo	borda
SiO ₂	35,47	35,78	35,95	35,60	35,09	35,63	35,16	35,41	35,51	35,55	35,73	35,32	35,37	34,74	35,14	34,65	34,97	35,37
TiO ₂	2,32	2,45	4,35	4,26	3,68	3,44	4,36	4,34	4,15	4,09	3,28	3,35	4,34	4,36	3,87	3,73	3,28	3,51
Al ₂ O ₃	16,04	15,76	15,12	15,50	16,04	15,53	15,27	15,23	16,27	15,22	15,42	15,42	15,23	15,22	15,62	15,98	15,76	15,72
FeO	23,19	23,00	23,76	23,04	22,74	22,85	24,01	23,77	23,11	23,09	23,20	23,38	24,02	23,82	24,22	24,50	24,08	24,11
MgO	8,80	8,66	8,11	8,29	8,86	8,94	8,40	8,45	8,90	8,63	8,99	8,82	7,87	7,90	7,56	7,81	7,67	7,78
Na ₂ O	0,02	-	0,02	-	0,01	-	-	0,03	0,02	0,01	-	0,03	-	-	-	0,01	0,01	-
K ₂ O	7,64	7,48	7,63	7,77	7,70	7,80	7,83	7,80	7,63	7,77	7,92	7,80	7,66	7,60	7,59	7,50	7,44	7,46
Total	93,47	93,12	94,94	94,44	94,11	94,19	95,01	95,05	95,59	94,35	94,53	94,11	94,48	93,64	93,99	94,19	93,21	93,94
	Número de íons com base em 22 oxigênios																	
Si	5,82	5,88	5,82	5,78	5,72	5,80	5,72	5,74	5,69	5,79	5,81	5,78	5,77	5,73	5,77	5,69	5,78	5,80
Ti	0,29	0,30	0,53	0,52	0,45	0,42	0,53	0,53	0,50	0,50	0,40	0,41	0,53	0,54	0,48	0,46	0,41	0,43
Al	3,10	3,05	2,88	2,97	3,08	2,98	2,92	2,91	3,07	2,92	2,95	2,97	2,93	2,96	3,02	3,09	3,07	3,03
Fe ²⁺	3,18	3,16	3,22	3,13	3,10	3,11	3,26	3,23	3,10	3,14	3,15	3,20	3,28	3,29	3,33	3,36	3,33	3,31
Mg	2,15	2,12	1,96	2,01	2,15	2,17	2,04	2,04	2,13	2,09	2,18	2,15	1,91	1,94	1,85	1,91	1,89	1,90
Na	0,01	-	0,01	-	-	-	-	0,01	0,01	-	-	0,01	-	-	-	-	-	-
K	1,60	1,57	1,58	1,61	1,60	1,62	1,62	1,62	1,56	1,61	1,64	1,63	1,59	1,60	1,59	1,57	1,57	1,56
Soma	16,14	16,08	15,99	16,02	16,10	16,10	16,10	16,08	16,05	16,06	16,13	16,14	16,02	16,05	16,03	16,09	16,05	16,03

7.3. Epidoto

Das três lâminas analisadas, somente a ES-06 continha cristais de epidoto, sendo assim, foram feitos dois pontos tanto nos núcleos quanto nas bordas desses cristais, assim como um perfil no maior grão, totalizando assim três cristais de epidoto analisados. Tais dados, obtidos na microsonda, foram processados utilizando o *software* MinPet (Richard, 1995), o qual, com base na porcentagem dos óxidos presentes forneceu a fórmula estrutural dos cristais de epidoto (Tabela 16).

Com os dados obtidos foi possível realizar o cálculo da razão de pistacita ($\text{Fe}^{3+}/(\text{Fe}^{3+} + \text{Al}^{\text{VI}})$), possibilitando através da classificação de Tulloch (1979) determinar qual é a provável origem dos cristais de epidoto presentes no Ortognaisse Estrela (Tabela 15).

Tabela 15 – Razão de pistacita e classificação dos cristais de epidoto

Amostra	Razão de pistacita (%) *	Classificação **
ES-06 C1B	28,85	Magmático
ES-06 C1N	29,54	Magmático
ES-06 C6B	31,29	Secundário
ES-06 C6N	30,2	Secundário (?)
ES-06 C7P3	27,66	Magmático
ES-06 C7P4	28,93	Magmático
ES-06 C7P5	31,71	Secundário

$$\text{*Razão de pistacita (\%PS)} = \frac{\text{Fe}^{3+}}{\text{Fe}^{3+} + \text{Al}^{\text{VI}}} \times 100\%, \text{ para teores de TiO}_2 < 0,2\%$$

**** %PS < 25%** – Alteração hidrotermal do plagioclásio

25 ≤ %PS ≤ 30 – Magmático

%PS ≥ 30 – Alteração hidrotermal da biotita

Como pode ser observado na Tabela 15, dentre os cristais analisados há tanto epidoto primário como secundário, porém nenhum relacionado à alteração hidrotermal do plagioclásio. Nas análises dos pontos ES06-C7 (Perfil), observa-se que o núcleo tem menores valores de pistacita, indicando filiação magmática, e nas bordas o valor aumenta, compatível com epidoto secundário. Uma hipótese para explicar tal comportamento é que após sua cristalização primária o mineral do magma sofreu um sobrecrecimento nas bordas (secundário). Por outro lado, os pontos da amostra ES-06 C1 indicam que todo o cristal tem origem magmática.

Além da classificação dos cristais de epidoto utilizando a razão de pistacita também foi produzido um gráfico com base na variação dos elementos (Figura 71) para tentar identificar

algum zoneamento do cristal em que foi feito o perfil, sendo visível um leve aumento de Fe_2O_3 e diminuição de Al_2O_3 e CaO em direção à borda do cristal analisado.

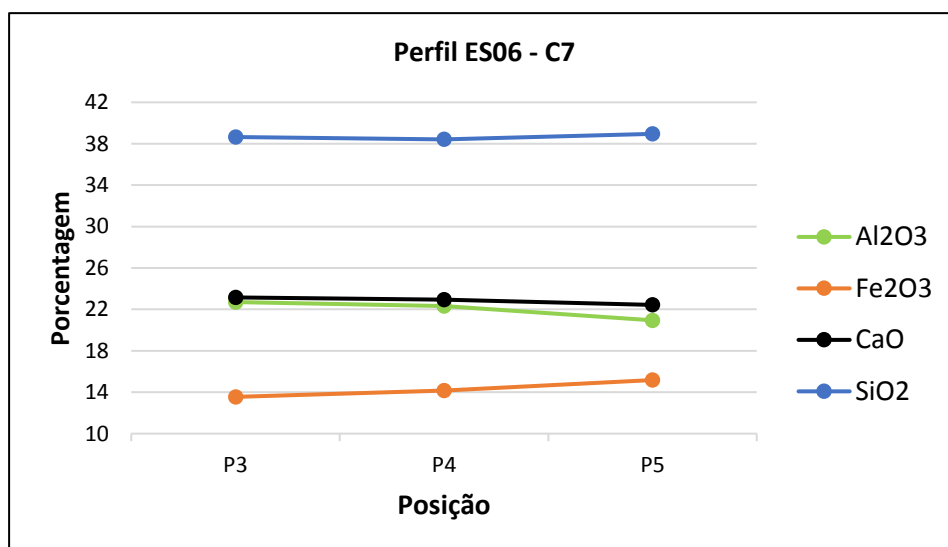


Figura 71: Perfil composicional com base na variação dos elementos químicos do cristal de epidoto do Ortognaisse Estrela.

Tabela 16 – Análises representativas e suas devidas fórmulas estruturais dos cristais de epidoto do Ortognaisse Estrela

Amostra	ES - 06 C1		ES - 06 C6	
	Ortognaisse Estrela			
	núcleo	borda	núcleo	borda
SiO ₂	37,22	39,44	38,14	38,79
TiO ₂	0,03	0,07	0,10	0,04
Al ₂ O ₃	23,10	23,52	21,83	21,77
Fe ₂ O ₃	15,25	14,97	14,83	15,52
MnO	0,27	0,29	0,42	0,28
MgO	0,08	0,05	-	0,02
CaO	22,15	21,98	22,50	23,08
Total	98,11	100,32	97,82	99,50
	Número de íons com base em 12,5 oxigênios			
Si	2,97	3,06	3,05	3,06
Ti	-	-	0,01	-
Al	2,17	2,15	2,06	2,02
Mn	0,02	0,02	0,03	0,02
Mg	0,01	0,01	-	-
Ca	1,89	1,83	1,93	1,95
Fe ³⁺	0,91	0,87	0,89	0,92
Soma	7,97	7,92	7,96	7,97

7.4. Feldspato Potássico

Feldspato potássico foi observado em duas das três lâminas estudadas na microsonda (ES-03 e ES-06), sendo analisados somente três pontos nos núcleos e nas bordas, em um de três cristais. Tais dados foram processados utilizando o *software* MinPet (Richard, 1995), o qual, além de gerar as fórmulas estruturais (Tabela 17) também permitiu a classificação dos cristais de K-feldspato (Deer *et al.*, 1992).

É possível observar no diagrama da figura 72 que todos cristais de K-feldspato foram classificados como cristais extremamente ricos na molécula ortoclásio, tanto nos núcleos como nas bordas, apresentando valores de Or acima de 91,00% e composição média de $\text{Or}_{92,2}\text{Ab}_{7,6}\text{An}_{0,2}$.

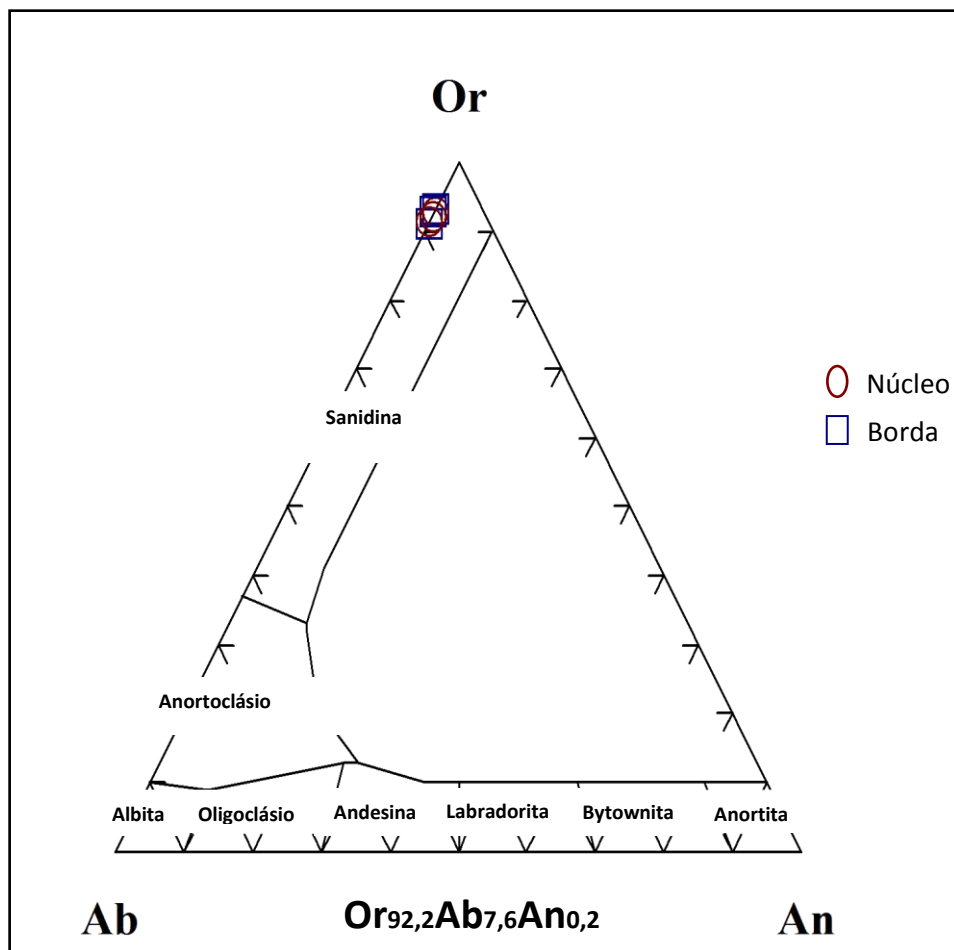


Figura 72: Diagrama ternário Ab-An-Or para classificação de feldspatos (Deer *et al.*, 1992). Ab – albíta, An – anortita, Or – ortoclásio.

Tabela 17 – Análises representativas e suas devidas fórmulas estruturais dos cristais de K-feldspato do Ortognaisse Estrela

Amostra	ES - 03 C1		ES - 03 C4		ES - 06 C8	
	Ortognaisse Estrela					
	núcleo	borda	núcleo	borda	núcleo	borda
SiO ₂	61,53	61,89	61,63	61,26	61,10	60,82
Al ₂ O ₃	18,38	18,39	18,53	18,52	18,74	18,65
FeO	0,03	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02
BaO	0,08	0,09	0,04	0,05	0,16	0,14
CaO	0,05	0,05	0,06	0,04	0,03	0,02
Na ₂ O	0,94	0,92	1,02	0,98	1,10	1,18
K ₂ O	19,16	19,24	18,95	19,29	18,30	18,54
Total	100,18	100,62	100,25	100,17	99,43	99,37
	Número de íons com base em 32 oxigênios					
Si	11,66	11,68	11,66	11,63	11,63	11,61
Al	4,10	4,09	4,13	4,14	4,20	4,19
Fe ²⁺	0,01	0,01	-	0,01	-	-
Ba	0,01	0,01	-	-	0,01	0,01
Ca	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	-
Na	0,35	0,34	0,38	0,36	0,41	0,44
K	4,63	4,63	4,57	4,67	4,44	4,51
Soma	20,77	20,76	20,75	20,81	20,69	20,77
	Ab-An-Or					
Albita	6,90	6,70	7,60	7,10	8,30	8,80
Anortita	0,20	0,20	0,20	0,20	0,10	0,10
Ortoclásio	92,90	93,10	92,20	92,70	91,50	91,10

7.5. Plagioclásio

O plagioclásio está presente em todas as lâminas do Ortognaisse Estrela. Foram realizadas quinze análises de núcleo e borda além de seis perfis composicionais, o que totaliza vinte e uma análises de cristais de plagioclásio. Com os dados obtidos foi feito o processamento utilizando o *software* MinPet (Richard, 1995), onde foram calculadas as fórmulas estruturais (Tabela 18) e obtido o diagrama de classificação dos cristais de plagioclásio (Deer *et al.*, 1992).

Os cristais estudados agrupam-se todos no campo da andesina, como pode ser visto no diagrama classificatório dos plagioclásios (Deer *et al.*, 1992) apresentado na figura 73, tanto para as análises realizadas nos núcleos como nas bordas, apresentando uma composição média de An_{39,2}Ab_{60,6}Or_{0,2}.

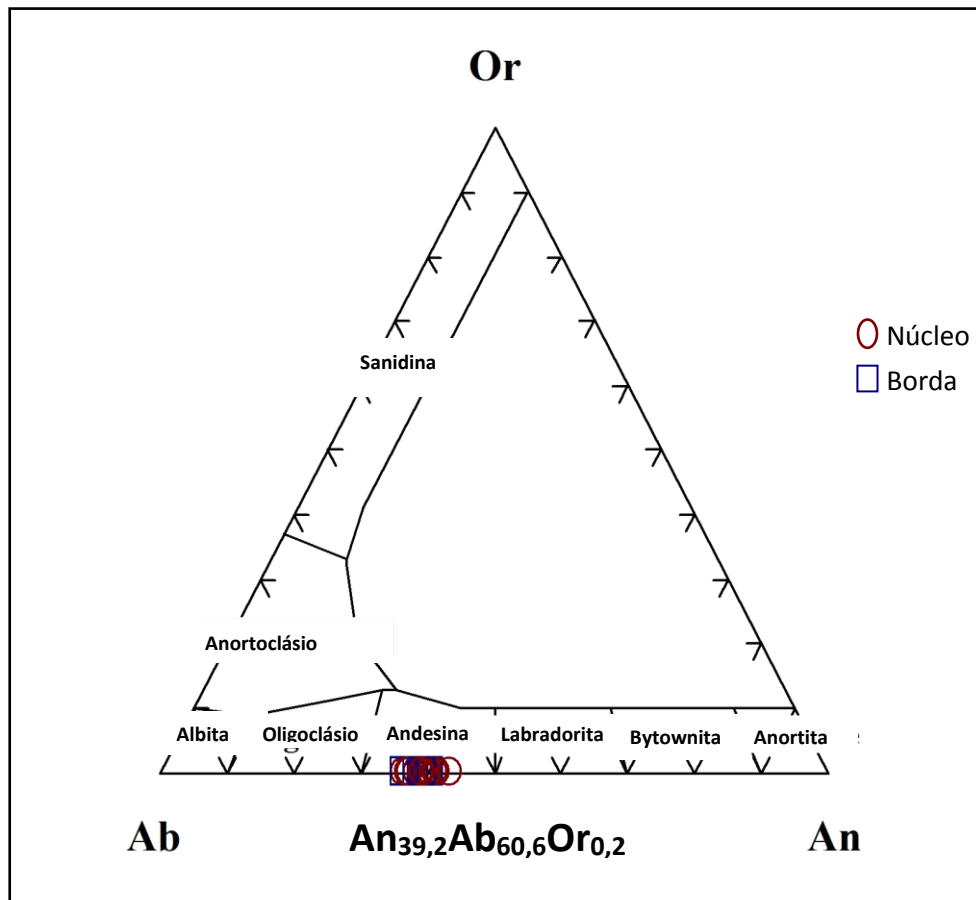


Figura 73: Diagrama ternário Ab-An-Or para classificação de feldspatos (Deer *et al.*, 1992). Ab – albita, An – anortita, Or – ortoclásio. Classificação dos cristais de plagioclásio do Ortognaisse Estrela utilizando análises de núcleo e borda.

Além das análises de núcleo e borda foram realizados seis perfis composicionais, como citado anteriormente, os quais não apresentaram expressiva variação composicional, sendo visível nas figuras 74 e 75 dois diagramas representativos dessas análises exibindo todos os pontos plotados no campo da andesina.

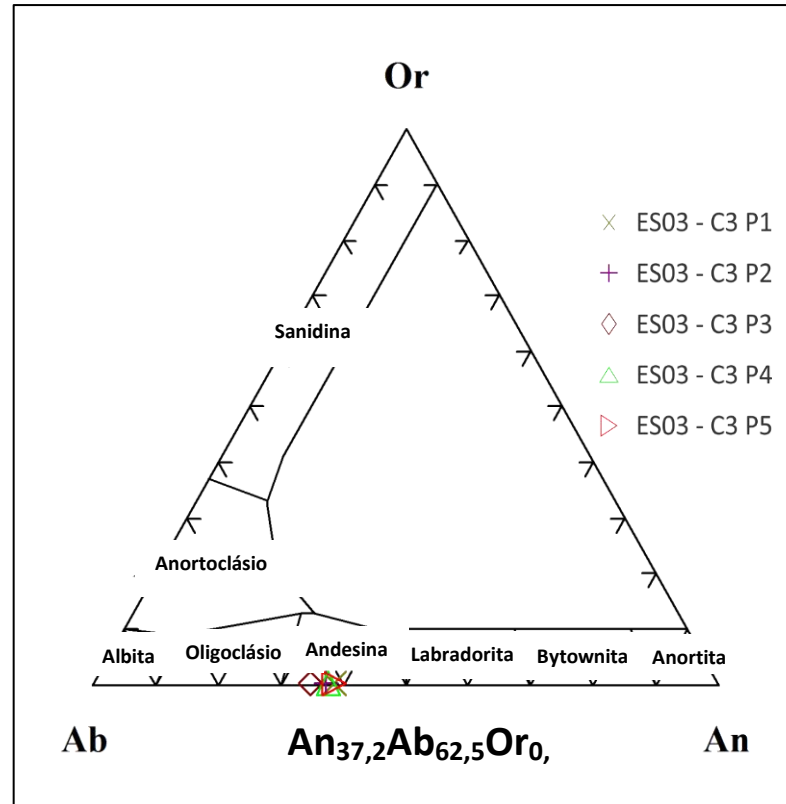


Figura 74: Diagrama ternário Ab-An-Or para classificação de feldspatos (Deer *et al.*, 1992). Ab – albita, An – anortita, Or – ortoclásio. Classificação dos cristais de plagioclásio do Ortognaisse Estrela utilizando o perfil ES03-C3.

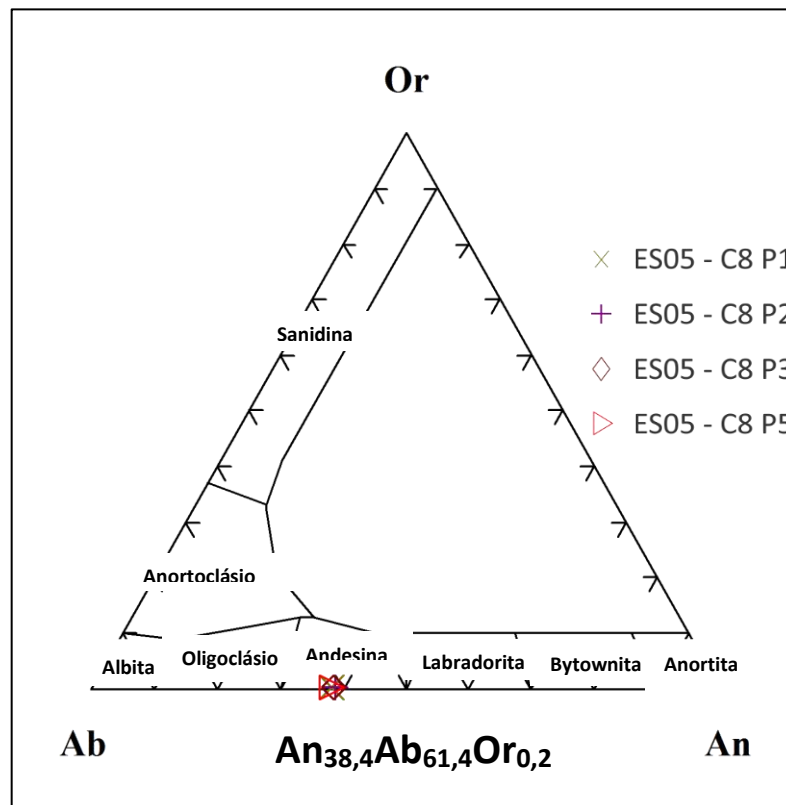


Figura 75: Diagrama ternário Ab-An-Or para classificação de feldspatos (Deer *et al.*, 1992). Ab – albita, An – anortita, Or – ortoclásio. Classificação dos cristais de plagioclásio do Ortognaisse Estrela utilizando o perfil ES05-C8.

Tabela 18 – Análises representativas e suas devidas fórmulas estruturais dos cristais de plagioclásio do Ortognaisse Estrela

Amostra	ES - 03 C1		ES - 03 C2		ES - 03 C4		ES - 05 C1		ES - 05 C5		ES - 05 C6		ES - 06 C2		ES - 06 C4		ES - 06 C5	
	Ortognaisse Estrela																	
	núcleo	borda	núcleo	borda	núcleo	borda	núcleo	borda	núcleo	borda	núcleo	borda	núcleo	borda	núcleo	borda	núcleo	borda
SiO ₂	59,44	59,38	59,39	59,00	59,17	58,82	59,13	59,06	59,25	60,08	59,78	60,23	58,13	58,78	59,11	59,04	57,85	59,10
Al ₂ O ₃	26,33	26,32	26,21	26,53	26,55	26,51	26,29	26,20	26,57	25,81	25,98	25,99	26,77	26,76	26,70	26,79	27,50	26,88
FeO	0,06	0,06	0,02	0,05	0,05	0,03	0,05	0,05	0,04	0,07	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04	0,05	0,05	0,09
CaO	7,70	7,80	7,45	7,77	7,78	7,77	7,52	7,29	7,45	7,22	7,27	7,26	8,10	7,96	8,01	7,94	7,99	8,05
Na ₂ O	6,64	6,67	6,69	6,72	6,48	6,47	6,57	6,56	6,96	6,96	6,85	6,98	6,38	6,79	6,64	6,48	6,31	6,56
K ₂ O	0,05	0,04	0,03	0,05	0,07	0,04	0,05	0,04	0,06	0,07	0,01	0,01	0,05	0,03	0,05	0,03	0,04	0,04
Total	100,22	100,26	99,79	100,11	100,09	99,63	99,62	99,19	100,32	100,20	99,92	100,48	99,45	100,34	100,55	100,32	99,74	100,72
	Número de íons com base em 32 oxigênios																	
Si	10,56	10,55	10,58	10,50	10,52	10,51	10,56	10,58	10,52	10,66	10,63	10,65	10,42	10,45	10,48	10,48	10,34	10,46
Al	5,51	5,51	5,50	5,56	5,56	5,58	5,53	5,53	5,55	5,39	5,44	5,41	5,65	5,60	5,58	5,60	5,79	5,60
Fe ²⁺	0,01	0,01	-	0,01	0,01	-	0,01	0,01	0,01	0,01	-	-	-	-	0,01	0,01	0,01	0,01
Ca	1,47	1,48	1,42	1,48	1,48	1,49	1,44	1,40	1,42	1,37	1,39	1,38	1,56	1,52	1,52	1,51	1,53	1,53
Na	2,29	2,30	2,31	2,32	2,24	2,24	2,28	2,28	2,40	2,40	2,36	2,39	2,22	2,34	2,28	2,23	2,19	2,25
K	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	-	-	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Soma	19,83	19,85	19,82	19,88	19,82	19,82	19,82	19,79	19,90	19,84	19,82	19,83	19,86	19,92	19,88	19,83	19,86	19,86
	Ab-An-Or																	
Albita	60,70	60,60	61,80	60,80	59,90	60,00	61,10	61,80	62,60	63,30	63,00	63,50	58,60	60,60	59,80	59,50	58,70	59,50
Anortita	38,90	39,20	38,10	38,90	39,70	39,80	38,60	38,00	37,00	36,30	36,90	36,50	41,10	39,30	39,90	40,30	41,10	40,30
Ortoclásio	0,30	0,20	0,20	0,30	0,40	0,20	0,30	0,20	0,40	0,40	0,10	0,10	0,30	0,20	0,30	0,20	0,30	0,20

7.6. Opacos

Minerais opacos (ilmenita e magnetita) foram identificados nas três lâminas do Ortognaisse Estrela analisadas na microsonda eletrônica. Foram realizadas duas análises de núcleo e borda nos cristais de ilmenita e também mais duas análises em apenas um ponto de dois cristais distintos. Quanto aos cristais de magnetita, que ocorrem comumente como lamelas nos cristais de ilmenita, foram realizadas cinco análises, sendo três em lamelas e duas em minerais isolados, sendo feito somente um ponto em cada. Dessa forma, foram analisados um total de nove cristais, ao considerar cada lamela um cristal distinto. Tais dados foram processados utilizando o *software* Quilf. v.6.42 (Andersen *et al.*, 1993), responsável por calcular as fórmulas estruturais e a porcentagem dos *end-members* (Tabelas 19 e 20).

As variações composicionais desses minerais opacos apontam que a ilmenita possui relativa homogeneidade nos teores de TiO_2 (~46,00%) e FeO (~48,00%), enquanto a magnetita ocorre com duas composições um pouco distintas, uma em que há uma predominância de FeO (~94,00%) e baixa quantidade de TiO_2 (<1,00%) e outra em que o FeO continua a ser o componente predominante (~76%), porém com uma quantidade expressiva de TiO_2 (15,00%), portanto, sendo considerada uma Ti-magnetita. Além disso, em relação aos *end-members* foi possível identificar nos cristais de ilmenita um predomínio da porcentagem de ilmenita (Ilm) variando de 83% a 94% e de hematita (Hem) variando de 6% a 17%, enquanto que nos cristais de magnetita há predomínio da magnetita (Mt) por volta de 72% no caso das análises feitas em lamelas, à exceção do ponto ES-06 C9 que apresenta um valor anômalo de 30%, já no caso dos cristais sem lamelas este valor é de 100%, e para o *ulvospinel* (Usp) a variação nas lamelas é de 28%, com exceção da amostra ES-06 C9 que é de 70%.

Tabela 19 – Análises e suas devidas fórmulas estruturais dos cristais de ilmenita do Ortognaisse Estrela

Amostra	ES - 06 C9	ES - 06 C10	ES - 05 C2	ES - 05 C2	ES - 05 C7	ES - 05 C7
	Ortognaisse Estrela					
	ponto	ponto	núcleo	borda	núcleo	borda
SiO ₂	-	-	-	-	-	-
MgO	0,10	0,10	0,04	0,05	0,06	0,04
Al ₂ O ₃	0,16	0,16	0,01	0,03	0,23	0,02
TiO ₂	49,75	49,22	44,03	45,77	46,44	47,03
CaO	-	-	0,01	0,01	-	0,01
FeO	48,48	47,28	51,92	49,78	48,94	47,02
MnO	2,47	2,30	2,34	2,77	2,34	3,52
Nb ₂ O ₅	-	-	-	-	0,03	-
Total	100,96	99,06	98,35	98,42	98,03	97,64
	Número de íons com base em 6 oxigênios					
Al	-	-	-	-	0,01	-
Ti	0,93	0,94	0,84	0,88	0,89	0,91
Fe ³⁺	0,13	0,12	0,31	0,25	0,21	0,18
Fe ²⁺	0,87	0,89	0,79	0,82	0,84	0,83
Mn	0,05	0,05	0,05	0,06	0,05	0,08
Mg	-	-	-	-	-	-
Soma	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
	End Members					
Ilm	0,93	0,94	0,83	0,87	0,89	0,90
Hem	0,07	0,06	0,17	0,13	0,11	0,10

Tabela 20 – Análises e suas devidas fórmulas estruturais dos cristais de magnetita do Ortognaisse Estrela

Amostra	ES - 06 C9	ES - 06 C9	ES - 06 C9	ES - 03 C5	ES - 03 C6
	Ortognaisse Estrela				
	lamela	lamela	lamela	ponto	ponto
SiO ₂	-	-	-	-	0,10
MgO	-	-	0,06	0,02	-
Al ₂ O ₃	0,03	0,02	-	0,28	0,61
TiO ₂	9,61	9,61	23,89	0,03	0,03
CaO	0,41	0,42	0,12	0,01	-
FeO	82,73	82,46	69,22	94,49	94,08
MnO	0,16	0,17	1,07	0,12	0,11
Nb ₂ O ₅	-	-	0,01	0,01	0,01
Total	92,95	92,68	94,36	94,94	94,94
Número de íons com base em 32 oxigênios					
Al	-	-	-	0,01	0,03
Ti	0,28	0,28	0,70	-	-
Fe ³⁺	1,43	1,43	0,60	1,99	1,97
Fe ²⁺	1,28	1,28	1,66	1,00	1,00
Mn	0,01	0,01	0,04	-	-
Mg	-	-	-	-	-
Soma	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
End Members					
Usp	0,28	0,28	0,70	-	-
Mt	0,72	0,72	0,30	1,00	1,00

8. GEOTERMOBAROMETRIA

Os cálculos de temperatura e pressão de equilíbrio das fases minerais foram realizados com os dados obtidos nas análises da microsonda eletrônica. Foram utilizados cristais de hornblenda, plagioclásio e minerais opacos (ilmenita e magnetita) como geotermômetros do Ortognaisse Estrela. A hornblenda e o plagioclásio foram analisados por se tratarem dos minerais que se estabilizaram a maior temperatura no ortognaisse, já que não há piroxênio em sua assembleia mineral. Cabe informar que não foi possível realizar estudos de saturação de zircônio. Para a aplicação dos geotermômetros foram obtidas análises em pares de grãos coexistentes, ou seja, cristais que ocorrem em contato entre si.

Nas análises do par hornblenda-plagioclásio, foi realizado o cálculo geobarométrico utilizando a fórmula de Schmidt (1992) além do *software* AX, extensão Hb-Pl (Holland e Blundy, 1994) para a determinação da temperatura. Para obter os resultados no AX é necessário alimentar o programa com a composição química dos cristais de hornblenda e com a porcentagem de albita presente no plagioclásio. Desta forma, o software é capaz de fornecer a temperatura de equilíbrio desse par de minerais, mas necessita uma pressão estimada, que foi calculada através do método de Schmidt (1992), para assim tornar os dados mais consistentes.

Nos cristais de ilmenita e magnetita foram realizados os cálculos de temperatura de equilíbrio além dos de fugacidade de oxigênio, através do *software* Quilf v.6.42 (Andersen *et al.*, 1993).

8.1. Resultados

8.1.1. Plagioclásio e anfibólio

Como informado acima, os cálculos de temperatura utilizando como parâmetros os pares de cristais de hornblenda e plagioclásio foram feitos através do *software* AX, extensão Hb-Pl (Holland e Blundy, 1994), sendo fornecido pelo programa os valores de temperatura para cada par mineral analisado, considerando-se a pressão informada. O Ortognaisse Estrela possui uma assembleia mineralógica primária em equilíbrio, compatível com a preconizada por Schmidt (1992), sendo ela, hornblenda, biotita, plagioclásio, ortoclásio, quartzo, titanita e óxidos de Fe e Ti, assim permitindo o uso desse método. Para tal cálculo de pressão foram utilizados os valores de Al total ($Al^{IV} + Al^{VI}$) fornecido pela fórmula estrutural da hornblenda. Os resultados estão apresentados na Tabela 21, onde é visível que todas análises foram efetuadas nas bordas

dos cristais, tanto no caso de cristais onde foram feitos perfis como em cristais em que foram analisados núcleo e borda.

Tabela 21 - Amostras do Ortognaisse Estrela analisadas no AX com valores de pressão obtidos por meio do método de Schmidt (1992) e temperaturas calculadas a partir do valor de pressão obtido

Amostra	T Al	C Al	Al total	Pressão (Kbar)	Temperatura (°C)
ES-06 C2B	1,67	0,464	2,366	6,55	750
ES-06 C5P5	1,829	0,478	2,307	6,30	748
ES-06 C7B	1,758	0,471	2,33	6,40	700
ES-03 C2B	1,79	0,484	2,274	6,16	746
ES-03 C3P5	1,806	0,517	2,323	6,37	739
ES-03 C8B	1,813	0,531	2,344	6,46	710
ES-05 C1P5	1,709	0,496	2,205	5,87	725
ES-05 C3B	1,707	0,475	2,182	5,77	741
ES-05 C8P5	1,784	0,613	2,397	6,68	717

Os dados disponíveis na Tabela 20 mostram que o Ortognaisse Estrela não apresenta valores com grandes discrepâncias entre si, tanto no caso da pressão como da temperatura, apresentando uma pressão média de 6,28 Kbar e temperatura de 730,67 °C.

8.1.2. Ilmenita e magnetita

Para os minerais opacos (ilmenita e magnetita) os cálculos foram feitos através do *software* Quilf v.6.42 (Andersen *et al.*, 1993), tendo se obtido a temperatura de (re)equilíbrio desses minerais e valores de fugacidade de oxigênio associado a tal equilíbrio. Vale ressaltar que esses dois minerais só exibem comprovada coexistência quando a magnetita ocorre como lamelas na ilmenita, sugerindo fortemente que houve reequilíbrio em provável processo de exsolução de magnetita a partir da ilmenita, possivelmente em condições subsolidus. Os dados apresentados na Tabela 22 são, portanto, obtidos em cristais com tal característica. O diagrama da figura 76 ilustra o campo de estabilidade associado à T e fO_2 calculados.

Para obter os resultados de temperatura e fugacidade de oxigênio é necessário alimentar o *software* com a composição química do cristal de ilmenita para que sejam gerados os valores de frações molares de XHem (Hematita – Fe_2O_3), XGk (geikielita – $MgTiO_3$) e XPy (pyrophanita – $MnTiO_3$), e da magnetita para obter os valores de NTi (titânio), NMg (magnésio) e NMn (manganês), além de uma pressão estimada. Foi obtida temperatura de cerca de 600°C e um valor para o logaritmo da fugacidade de oxigênio em torno de -16, apontando

condições moderada a muito oxidada para o reequilíbrio, no campo entre os *buffers* HM e FMQ+2 (Figura 76).

Tabela 22 - Resultados de temperatura de equilíbrio e fugacidade de oxigênio dos minerais opacos utilizando o *software* Quilf.

Temperatura (°C)	Pressão (Kbar)	Fugacidade de oxigênio
600 ± 50	6,0	$-16,3 \pm 1$

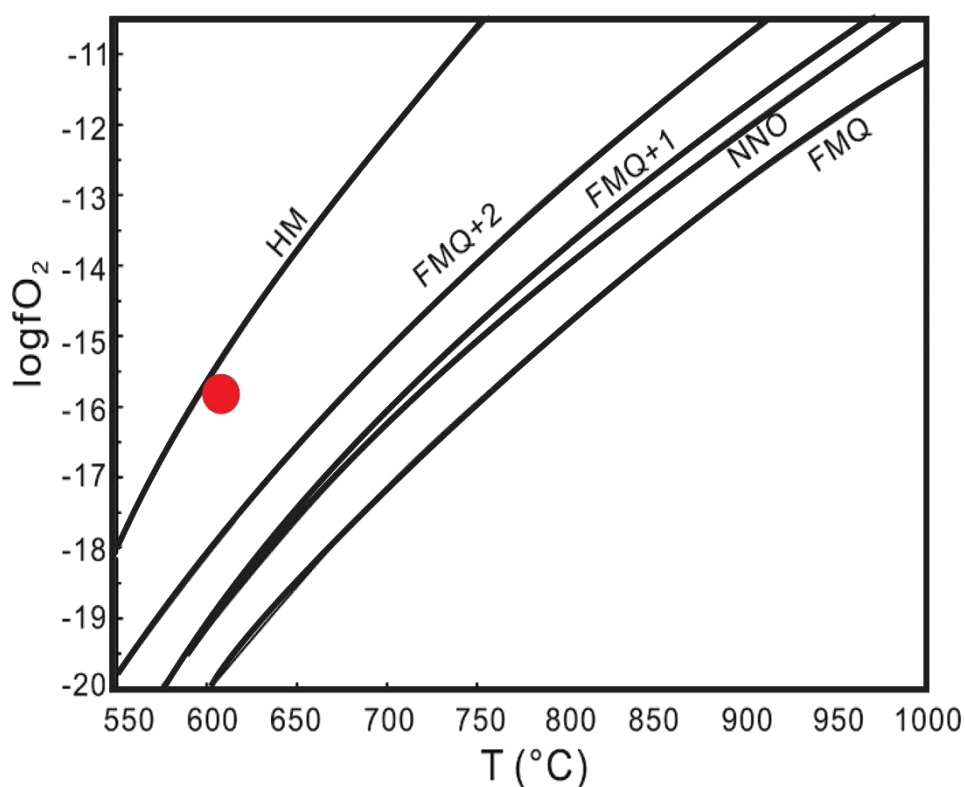


Figura 76: Diagrama de condições oxirredutoras dos minerais opacos (Wallace e Carmichael, 1994) presentes no Ortognaisse Estrela. Legenda: HM (hematita-magnetita), NNO (níquel-óxido de níquel), FMQ (faialita-magnetita-quartzo).

9. DISCUSSÃO E CONCLUSÃO

Na área de estudo foi possível identificar seis litotipos distintos, sendo eles, 1) Ortognaisse Estrela, 2) Leucogranito, 3) Paragnaisse, 4) Granito Alto Chapéu, 5) Diorito Alto Chapéu e 6) Titanita granito. Porém, o principal foco desse trabalho é o Ortognaisse Estrela, tendo sido elaborado estudos petrográficos, análise química mineral e também cálculos geotermobarométricos para esse litotipo, enquanto para as outras o estudo se restringiu a petrografia, com exceção do Paragnaisse e do Granito Alto Chapéu, além da caracterização de campo de todas elas. Dessa forma, esse trabalho, aliado a outros trabalhos desenvolvidos na região como os de Carvalho (2020) e Coelho (2020), permitiu uma melhor caracterização do Ortognaisse Estrela e a proposição de alguns parâmetros intensivos (P, T, fO₂) associados à cristalização dessa rocha e reequilíbrio posterior.

9.1. Geologia da área estudada

Com base nas relações de campo, foi possível formular algumas hipóteses. No caso do Paragnaisse, devido a forma em que se apresenta nos afloramentos e também a maneira que se dispõe em mapa (Anexo A -Mapa geológico) é possível classificá-lo como um enclave, pois esse claramente possui uma tendência de seguir as curvas de nível e além disso apresenta relações com o Ortognaisse Estrela que evidenciam seu comportamento como um enclave, como contatos bruscos (Figura 15), indicando uma grande diferença de temperatura entre esses dois corpos, além da presença de granada no Ortognaisse Estrela nas áreas de contato com o enclave, assim indicando uma zona de assimilação, já que a granada não faz parte da assembleia mineral do ortognaisse em outras regiões.

Além disso, o enclave do Paragnaisse permite o levantamento de duas possíveis hipóteses relacionadas ao contexto geotectônico da região. A primeira hipótese, é que o enclave trata-se de um representante do embasamento de idade desconhecida, que foi assimilado pelo magma gerador do Ortognaisse Estrela durante a ascensão do mesmo, dessa maneira podendo ser pré-colisional, não alterando o que a maioria dos pesquisadores defende. Já a segunda hipótese leva em consideração a possibilidade do ortognaisse ter se desenvolvido até um momento sin-colisional, nesse caso o enclave seria um representante de uma bacia associada ao arco que foi carreado pelo magma durante a colisão, dessa forma, fazendo com que ambas rochas sejam deformadas e fundidas parcialmente durante a colisão, assim tratando-se de um hipótese mais improvável, pois dificilmente ambas foram deformadas ao mesmo tempo.

Quanto ao Ortognaisse Estrela, foram identificadas variações faciológicas associadas à mudança de granulação, e da porcentagem de fenocristais, sendo possível interpretar localmente processo de diferenciação por ação de *filter pressing* (Figura 77), pois há pontos em que visivelmente há uma grande concentração de fenocristais enquanto outras porções possuem uma quantidade consideravelmente inferior, indicando que possivelmente a porção mais fina da rocha corresponde à migração do magma enquanto o restante já se encontrava em estágio muito mais avançado de cristalização.



Figura 77: Bloco do Ortognaisse Estrela evidenciando o mecanismo de *filter pressing*, sendo marcado pela diferença da proporção de fenocristais de feldspato existente entre a porção circulada, a qual possui uma porcentagem extremamente inferior em relação ao restante do bloco, o qual provavelmente já estava cristalizado antes da entrada dessa porção mais fina. Ponto ES-225.

Em relação à porção migmatizada do Ortognaisse Estrela, observa-se no mapa geológico e na seção geológica (anexos A e C), que ela se concentra no entorno do Maciço Alto Chapéu e esta relação sugere que a fusão parcial sofrida pela rocha pode ter sido em parte devido à intrusão tardia do granito e do diorito Alto chapéu, pertencentes à supersuíte G5 (530-480 Ma).

Um outro aspecto relacionado à fusão do Ortognaisse Estrela é a possibilidade de que tal processo tenha gerado o Leucogranito, que contém enclaves do ortognaisse (Figura 30). Tal fenômeno pode ter ocorrido em níveis crustais mais profundos, onde T e P favoreceram a fusão

e o líquido gerado ascendeu devido a sua menor densidade e se colocou na crosta cortando o ortogneisse (anexos A e C – Mapa geológico e Seção geológica).

Em relação aos outros litotipos cartografados, Titanita granito, granito e diorito Alto Chapéu, eles não exibem deformação e possuem aspecto ígneo totalmente preservado. O Titanita granito, que corta o ortogneisse, e possivelmente as duas rochas do Maciço Alto Chapéu, pode ser considerado um possível apófise da supersuíte G5 proposta para a Faixa Araçuaí, pois este apesar de apresentar uma semelhança mineralógica com o Granito 2 descrito por Bayer *et al.* (1987) no plúton Santa Angélica, o Titanita granito não possui uma textura porfírica em afloramento e nem granulação média.

9.2. Petrografia

Com base na petrografia, a maior parte dos litotipos cartografados tem semelhanças mineralógicas, apesar de apresentarem diferentes classificações. O Ortogneisse Estrela tem protólito granodiorítico a tonalítico, já o Leucogranito tem composição sienogranítica a monzogranítica, o Titanita granito sienogranítica, portanto apresentando composição distinta do Granito 2 presente no plúton Santa Angélica, que apesar de se assemelhar mineralogicamente possui composição monzogranítica, porém devido ao pequeno espaço amostral obtidos nas expedições de campo, pode ser que a composição varie até monzogranítica, assim e assemelhando composicionalmente ao Granito 2 presente no Santa Angélica, e o Diorito Alto Chapéu quartzo-diorítica.

Em todas as rochas, plagioclásio, quartzo e biotita são essenciais, excetuando que biotita é acessória no leucogranito. Além disso, entre os minerais acessórios também há diversas semelhanças, como a presença de titanita, zircão e opacos em todas os litotipos. No caso dos minerais secundários essa semelhança ocorre geralmente em relação aos cristais de feldspato que alteram para caulinita e sericita.

Em relação a textura dessas rochas há também uma certa homogeneidade, porém no caso do Diorito Alto Chapéu é o único litotipo que apresentou em todas lâminas textura equigranular, enquanto os outros três litotipos no geral apresentam textura inequigranular porfírica contendo fenocristais. No caso do Ortogneisse Estrela esses são de plagioclásio e no Leucogranito e no Titanita granito de microclina, além das três possuírem matriz equigranular hipidiomórfica. Porém no caso do Ortogneisse Estrela também há porções com variações faciológicas, ocorrendo por vezes com textura equigranular e também com feições de fusão parcial, o que pode ser a causa de algumas amostras plotarem em campos distintos no diagrama QAP, como

quartzo diorito e quartzo monzonito. Excetuando o Ortognaisse Estrela, os outros litotipos são predominantemente isotrópicos. Evidências de deformação e fusão parcial são claramente observadas no ortognaisse, em especial próximo ao contato com o Maciço Alto Chapéu (Figura 37).

Além disso, é visível no caso do Ortognaisse Estrela e em pequenas porções do Leucogranito a ocorrência dos minerais máficos como agregados (Figura 43), sendo frequente processos de substituição mineral, principalmente entre hornblenda e biotita, o que também ocorre no Diorito Alto Chapéu. Titanita ocorre frequentemente nesses agregados do ortognaisse, associada à biotita ou envolvendo os minerais opacos devido à alta disponibilidade de TiO_2 proveniente de ilmenita e Ti-magnetita, o que pode ser relacionado a retrometamorfismo ou então a estágio magmático tardio/subsolidus de reequilíbrio mineral.

Mineralogicamente, o ortognaisse é uma rocha à hornblenda e à biotita com consideráveis proporções destes minerais, ao contrário do Leucogranito, onde eles são acessórios. Esse aspecto pode ser considerado como uma possível evidência de origem do Leucogranito a partir da fusão parcial do ortognaisse, realçado pela composição sienogranítica do Leucogranito. Enquanto o ortognaisse exhibe localmente feições nítidas de fusão parcial (filmes de quartzo) e recristalização granoblástica, o Leucogranito exhibe pontualmente cristais de quartzo com extinção ondulante e sutil recristalização.

9.3. Química Mineral do Ortognaisse Estrela

Um sutil zoneamento composicional nos cristais de anfibólio, núcleo pargasítico e borda Mg-hornblenda, pôde ser observado nos diagramas classificatórios de Hawthorne *et al.* (2012), assim como no epidoto, onde é visível uma variação elementar expressiva do núcleo para a borda, principalmente no caso do Fe e do Al. Já nos demais minerais analisados não se verificou variação composicional do núcleo para a borda.

A Fugacidade de oxigênio pode ser estimada a partir da composição do anfibólio, usando o diagrama proposto por Anderson e Smith (1995), resultando em fugacidade moderada a baixa, contrastando com condições mais oxidantes esperadas para magmas de assinatura cálcio-alcalina gerados em ambiente de arco, caso do ortognaisse. Tal natureza química é comprovada pela composição de cristais de biotita analisados neste trabalho (conforme diagramas propostos por Nachit *et al.* (1985) e Abdel-Rahman, (1994), e em consonância com a química das rochas desse litotipo (Carvalho, 2020). Tal dissonância deve ser investigada futuramente à luz de maior

número de análises de microsonda e através de busca de outros parâmetros para avaliação do estado de oxidação de magmas.

Cristais de epidoto analisados foram classificados de acordo com a razão de pistacita $\text{Fe}^{3+}/(\text{Fe}^{3+} + \text{Al}^{\text{VI}})$, baseando-se na classificação de Tulloch (1979). No Ortognaisse Estrela as razões de pistacita variam de 27,6 à 31,7, indicando a presença de cristais primários e secundários. A existência de cristais primários, conforme Crawford e Hollister (1982) aponta que tais cristais de epidoto foram cristalizados sob pressão mínima de 6,0 Kbar. As análises apontaram grãos de epidoto com razões de cristais ígneos tanto no núcleo quanto na borda, assim como cristais com razões de epidoto magmático no núcleo e borda secundária, o que aponta que deve ter ocorrido um sobrecrecimento pós-magmático na borda dos cristais originários do magma.

Dentre os feldspatos, o plagioclásio tem composição média $\text{An}_{39,2}\text{Ab}_{60,6}\text{Or}_{0,2}$ e a média para o K-feldspato é $\text{Or}_{92,2}\text{Ab}_{7,6}\text{An}_{0,2}$.

Considerando os minerais opacos (ilmenita e magnetita), foram identificadas tanto magnetita *stricto sensu*, possuindo mais de 90,00% de FeO, como Ti-magnetita apresentando altas porcentagens de TiO_2 que variam de 9,0% até 23,0%. Já a ilmenita possui pequenas variações nas porcentagens de TiO_2 (~46,00%) e de FeO (~48,00%). Os *end-members* da ilmenita exibem proporções de ilmenita (Ilm) variando de 83% a 94% e de hematita (Hem) variando de 6% a 17%. Tal variação nas porcentagens de molécula de hematita presente nos cristais de ilmenita indica condições de oxidação moderada a alta, o que é compatível com valores de $f\text{O}_2$ de cerca de -16 unidades log calculados para o equilíbrio do par ilmenita – magnetita e ilustrado no diagrama de Wallace e Carmichael (1994).

9.4. Geotermobarometria

Utilizando a calibração de Holland e Blundy (1994) para o par hornblenda-plagioclásio, foram obtidas temperaturas que apontam o equilíbrio entre os dois minerais entre 700 e 750°C. Ao usar-se a fórmula de Schmitt (1992) para avaliação de pressão de cristalização de granitoides, os valores calculados oscilaram entre 5,77 e 6,68 Kbar. Tais valores de pressão indicam uma profundidade de cerca de 18 km para a consolidação e colocação do magma gerador do Ortognaisse Estrela, com base no conceito que a cada 3,0 km de profundidade há o aumento de 1,0 Kbar na pressão. Isto corresponde a uma porção intermediária da crosta continental com gradiente geotérmico elevado de cerca de 41°C por quilômetro, superior à média de 30°C por quilômetro aventada para a crosta continental. Com base nesses valores

obtidos é possível reafirmar que o Leucogranito possivelmente trata-se de uma porção fundida do Ortognaisse Estrela, pois este se estabeleceu à uma profundidade capaz de propiciar à fusão e consequentemente a formação do líquido que originou o Leucogranito, o qual posteriormente ascendeu devido a menor densidade, sendo colocado em um nível crustal mais raso em relação ao ortognaisse.

Ao fazer uso do par magnetita-ilmenita, obteve-se uma temperatura de equilíbrio próxima de 600 °C e o logaritmo da fugacidade de oxigênio por volta de -16,30 bars, sendo possível identificar através do diagrama de condições oxirredutoras (Figura 76) dos minerais opacos (Wallace e Carmichael, 1994) que a fugacidade de oxigênio (fO_2) encontra-se no campo FMQ+2 (faialita-magnetita-quartzo), logo abaixo do campo HM (Hematita-magnetita), o que indica condições mais oxidantes do que redutoras no momento de equilíbrio desses minerais, porém a uma temperatura inferior em relação ao par anfibólio e plagioclásio. Esta temperatura provavelmente reflete o (re)equilíbrio associado à exsolução entre as fases opacas, talvez em condições de subsolidus.

10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdel-Rahman, A.M., 1994. **Nature of biotites from alkaline, calc-alkaline, and peraluminous magmas.** *Journal of Petrology*, 35: 525-541.
- Andersen, D., Lindsley, D.H., Davidson, P.M., 1993. **QUILF: A Pascal program to assess equilibria among Fe-Mg-Mn-Ti oxides, pyroxenes, olivine, and quartz.** *Computers & Geosciences*. 19: 1333-1350.
- Anderson, J.L., Smith, D.R. 1995. **The effects of temperature and fO₂ on the Al-in-hornblende barometer.** *Am. Mineral.* 80, 549–559.
- Alkmim, F.F., Marshak, S., Pedrosa-Soares, A.C., Peres, G.G., Cruz, S.C.P., Whittington, A., 2006. **Kinematic evolution of the Araçuaí-West Congo orogen in Brazil and Africa: nutcracker tectonics during the neoproterozoic assembly of Gondwana.** *Precamb. Res.* 149, 43-64.
- Bayer, P., Schmidt-Thomé, R., Weber-Diefenbach, K. and Horn, H.A., 1987. **Complex concentric granitoid intrusions in the coastal mobile belt, Espírito Santo, Brazil: the Santa Angélica Pluton-an example.** *Geol. Rund.*, v. 76, pp. 357-371.
- Bento dos Santos, T.M., Munhá, J.M.U., Tassinari, C.C.G., Fonseca, P.E., Dias Neto, C., 2010. **Thermochronology of the central Ribeira Fold belt, SE Brazil: petrological and geochronological evidence for long-term high temperature maintenance during Western Gondwana amalgamation.** *Precamb. Res.* 180, 285-298.
- Brito Neves, B.B., Campos Neto, M.C., Fuck, R., 1999. **From Rodinia to Western Gondwana: an approach to the Brasiliano/Pan-African cycle and orogenic collage.** *Episodes* 22, 155-199.
- Carvalho, M., 2020. **Caracterização Petrográfica e Geoquímica do Ortognaisse Estrela na Região de Estrela do Norte – ES.** 85 f. Trabalho Final de Curso (Geologia) – Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- Coelho, V.S.A., 2020. **Mapeamento geológico e petrografia do Ortognaisse Estrela e sua relação com as demais litologias na região de Estrela do Norte, Espírito Santo.** 86 f. Trabalho Final de Curso (Geologia) – Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- Cordani, U.G., D'Agrella-Filho, M.S., Brito-Neves, B.B., Trindade, R.I.F., 2003. **Tearing up Rodinia: the Neoproterozoic paleogeography of South American cratonic fragments.** *Terra Nova* 15, 350-359.
- Costa, A.G., 1998. **The granulite-facies rocks of the northern segment of the Ribeira Belt, eastern Minas Gerais, SE Brazil.** *Gondwana Res.* 1 (3-4), 367-372.
- Crawford, M.L., and Hollister, L.S., 1982. **Contrast of metamorphic and structural histories across the Work Channel lineament, coast plutonic complex.** *British Columbia: Journal of Geophysical Research*, v. 87, no. B5, p. 3849-3860.
- Cunningham, W.D., Alkmin, F.E e Marshak, S., 1998. **A structural transect across the coastal mobile belt in the Brazilian highlands (latitude 20°S): the roofs of a Precambrian transpressional orogen.** *Precamb. Res.*, v. 92,

- De Campos, C., Mendes, J., Ludka, I., de Medeiros, S., de Moura, J., Wallfuss, C., 2004. **A review of the Brasiliano magmatism in southern Espírito Santo, Brazil, with emphasis on post-collisional magmatism.** In: Weinberg, R., Trouw, R., Fuck, R., Hackspacher, P. (Eds.), *The 750-550 Ma Brasiliano Event of South America*. J. Virtual Explor. ISSN: 1441-8142 17. Electronic Edition Paper 1.
- De Campos, C.P., De Medeiros, S.R., Mendes, J.C., Pedrosa-Soares, A.C., Dussin, I., Ludka, I.P., Dantas, E.L., 2016. **Cambro-Ordovician magmatism in the Araçuaí Belt (SE Brazil): Snapshots from a post-collisional event.** J. South Am. Earth Sci. 68, 248-268.
- Deer, W. A.; Howie, R. A.; Zussman, J., 1992. **An introduction to the rock-forming minerals.** 2. ed. Harlow, Longman. 696 p.
- Duarte, B.P., Figueiredo, M.C.H., Campos Neto, M., Heilbron, M., 1997. **Geochemistry of the Granulite Facies Orthogneisses of Juiz de Fora Complex, Central Segment of Ribeira Belt, Southeastern Brazil.** Rev. Bras. Geociências 27, 67-82.
- Duarte, B.P., Heilbron, M., Campos Neto, M., 2000. **Granulite/charnockite from the Juiz de Fora Domain, central segment of the Brasiliano Ribeira Belt.** Rev. Bras. Geociências 30, 358-362.
- Féboli, W.L., 2000. **Folha Governador Valadares. Projeto Leste.** CPRM-CODEMIG. <http://www.portalgeologia.com.br/mapa/>.
- Féboli, W.L., Paes, V.C., 2000. **Folha Itanhomi. Projeto Leste.** CPRM-CODEMIG. <http://www.portalgeologia.com.br/mapa/>.
- Figueiredo, M.C.H., Campos Neto, M.C., 1993. **Geochemistry of the Rio doce magmatic arc, Southeastern Brazil.** An. Acad. Bras. Ciências 65, 63-81.
- Figueiredo, M.C.H., Teixeira, W., 1996. **The Mantiqueira metamorphic complex, eastern minas gerais state: preliminary geochronological and geochemical results.** An. Acad. Bras. Ciências 68, 223-246.
- Fischel, D.P., 1998. **Geologia e dados isotpicos Sm-Nd do Complexo Mantiqueira e do Cinturão Ribeira na região de Abre Campo, Minas Gerais.** Inst. Geoc., Univ. de Brasília, M.Sc. dissertation, 99p.
- Fischel, D.P., Pimentel, M.M., Fuck, R.A., Costa, A.G., Rosière, C.A., 1998. **Geology and Sm-Nd isotopic data for the Mantiqueira and Juiz de Fora complexes (Coastal Mobile belt) in the Abre Campo region, Minas Gerais, Brazil.** In: *International Conference on Precambrian and Cratonic Tectonics*. Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Brazil, pp. 21-23.
- Gonçalves, L. E. da S., Alkmim, F.F., Pedrosa-Soares, A.C., 2010. **Características geoquímicas da Suíte G1, arco magmático do Orógeno Araçuaí, entre Governador Valadares e Ipanema, MG.** Rev. Esc. Minas 63, 457-464.
- Gonçalves, L., 2014. **New UePb ages and lithochemical attributes of the Ediacaran Rio Doce magmatic arc, Araçuaí confined orogen, southeastern Brazil.** J. South Am. Earth Sci. 52, 129-148.
- Gradim, C., Roncato, J., Pedrosa-Soares, A.C., Cordani, U., Dussin, I., Alkmin, F.F., Queiroga, G., Jacobson, T., da Silva, L.C., Babinski, M., 2014. **The hot back-arc zone of the Araçuaí orogen, Eastern Brazil: from sedimentation to granite generation.** Braz. J. Geol. 44 (1), 155-180.

- Haralyi, N.L.E. e Hasui, Y., 1982. **The gravimetric information and the Archean-Proterozoic structural framework of eastern Brazil**. Rev. Bras. Geoc., v. 12, pp. 160-166.
- Hawthorne, F.C., Oberti, R., Harlow, G.E., Maresch, W.V., Martin, R.F., Schumacher, J.C., Welch, M.D. 2012 **Nomenclature of the amphibole supergroup**. American Mineralogist, 97 (11-12): 2031-2048.
- Heilbron, M., Duarte, B., Valeriano, C., Simonetti, A., Machado, N., Nogueira, J., 2010. **Evolution of reworked Paleoproterozoic basement rocks within the Ribeira belt (Neoproterozoic), SE-Brazil, based on U Pb geochronology: implications for paleogeographic reconstructions of the São Francisco-Congo paleocontinent**. Precambrian Res. 178, 136-148.
- Heilbron, M., Pedrosa-Soares, A.C., Campos Neto, M., & Da Silva, L., Trouw, R.A., Janasi, V. 2004. **Província Mantiqueira**. Geologia do Continente Sul-Americano. pp.203-234.
- Heilbron, M., Duarte, B.P. e Nogueira, J.R., 1998. **The Juiz de Fora Complex of the Central Ribeira belt, SE Brazil: a segment of Paleoproterozoic granulitic crust thrust during the Pan-African Orogen**. Gondwana. Res., v. 1, pp. 373-382.
- Holland, T.J.B., Blundy, J.D., 1994. **Non-ideal interactions in calcic amphiboles and their bearing on amphibole-plagioclase thermometry**. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 116: 433-447.
- Lammerer, B., 1987. **Short notes in a structural section through the Ribeira Mobile Belt (Minas Gerais and Espírito Santo, Brazil)**. Zbl. Geol. Palaont. Teil I, v. (7/8), pp. 719-728.
- Le Maitre, R.W. 2002. **Igneous Rocks: A Classification and Glossary of Terms: Recommendations of the International Union of Geological Sciences Subcommittee on the Systematics of Igneous Rocks**. Cambridge, Cambridge University Press, 236 p.
- Locock, A. 2014. **An Excel spreadsheet to classify chemical analyses of amphiboles following the IMA 2012 recommendations**. *Computers & Geosciences*, 62: 1–11.
- Machado, N., Valladares, C., Heilbron, M. e Valeriano, C.M., 1996. **U-Pb Geochronology of the Central Ribeira Belt (Brazil) and implications for the evolution of the Brazilian orogeny**. Precamb. Res., v. 79, pp. 347-361.
- Martins, V. T. de S., Teixeira, W., Noce, C.M., Pedrosa-Soares, A.C., 2004. **Sr-Nd characteristics of Brasiliano/Pan-Africano granitoid plutons of the Araçuaí Orogen, Southeastern Brazil: tectonic implications**. Gondwana Res. 7, 75-89.
- Nalini Jr., H.A., Bilal, E., Correia Neves, J.M., 2000. **Syn-collisional peraluminous magmatism in the Rio Doce region: mineralogy, geochemistry and isotopic data of the Urucum suite (eastern Minas Gerais state, Brazil)**. Rev. Bras. Geociências 30, 120-125.
- Nalini Jr., H.A., Machado, R., Bilal, E., 2005. **Geoquímica e Petrogênese da Suíte Galiléia: Exemplo de Magmatismo Tipo-I Metaluminoso Pré-Colisional Neoproterozóico da Região do Médio Vale do Rio Doce (MG)**. Rev. Bras. Geociências 35, 23-34.
- Noce, C.M., Pedrosa-Soares, A.C., Silva, L.C., Armstrong, R., Danielle Piuzeana, D., 2007. **Evolution of polycyclic basement complexes in the Araçuaí Orogen, based on U-Pb SHRIMP data: implications for Brazil-Africa links in Paleoproterozoic time**. Precambrian Res. 159, 60-78.

- Noce, C.M., Novo, T., Figueiredo, C., Pedrosa-Soares, A.C., 2012. **Geologia da Folha Carangola 1:100,000**. UFMG e CPRM, GEOBANK. www.cprm.gov.br.
- Novo, T.A., 2013. **Caracterização do Complexo Pocrane, Magmatismo Básico Mesoproterozoico e Unidades Neoproterozoicas do Sistema Araçuaí-Ribeira, com ênfase em Geocronologia U-Pb (SHRIMP e LA-ICP-MS)**. Ph.D Thesis. UFMG, Belo Horizonte, Brazil, p. 193.
- Novo, T.A., Pedrosa-Soares, A.C., Noce, C.M., Alkmim, F.F., Dussin, I., 2010. **Rochas charnockíticas do sudeste de Minas Gerais: a raiz granulítica do arco magmático do Orógeno Araçuaí**. Rev. Bras. Geociências 40, 573-592.
- Pedrosa-Soares, A.C., Wiedemann-Leonardos, C.M., 2000. **Evolution of the Araçuaí belt and its connection to the Ribeira Belt, Eastern Brazil**. In: Cordani, U.G., Milani, E.J., Thomaz Filho, A., Campos, D.A. (Eds.), Tectonic Evolution of South America. International Geological Congress, Rio de Janeiro, pp. 265-285.
- Pedrosa-Soares, A.C., Noce, C.M., Vidal, P., Monteiro, R.L.B.P., Leonardos, O.H., 1992. **Toward a new tectonic model for the Late Proterozoic Araçuaí (SE Brazil) e West Congolian (SW Africa) Belt**. J. South Am. Earth Sci. 6, 33-47.
- Pedrosa-Soares, A.C., Vidal, P., Leonardos, O.H., Brito-Neves, B.B., 1998. **Neoproterozoic oceanic remnants in eastern Brazil: further evidence and refutation of an exclusively ensialic evolution for the Araçuaí-West Congo Orogen**. Geology 26, 519-522.
- Pedrosa-Soares, A.C., Noce, C.M., Wiedemann, C.M., Pinto, C.P., 2001. **The Araçuaí- West Congo orogen in Brazil: an overview of a confined orogen formed during Gondwanland assembly**. Precamb. Res. 110, 307-323.
- Pedrosa-Soares, A.C., Alkmim, F.F., Tack, L., Noce, C.M., Babinski, M., Silva, L.C., Martins-Neto, M.A., 2008. **Similarities and Differences between the Brazilian and African Counterparts of the Neoproterozoic Araçuaí-West-Congo Orogen**. Geological Society, London, pp. 153-172. Special Publications 294.
- Pedrosa-Soares, A.C., De Campos, C., Noce, C.M., Silva, L.C., Novo, T., Roncato, J., Medeiros, S., Castañeda, C., Queiroga, G., Dantas, E., Dussin, I., Alkmim, F.F., 2011. **Late Neoproterozoic-Cambrian Granitic Magmatism in the Araçuaí Orogen (Brazil), the Eastern Brazilian Pegmatite Province and Related Mineral Resources**. Geological Society, London, pp. 25-51. Special Publications 350.
- Peixoto, E., Pedrosa-Soares, A.C., Alkmim, F.F., Dussin, I.A., 2015. **A suture-related accretionary wedge formed in the Neoproterozoic Araçuaí orogen (SE Brazil) during Western Gondwanaland assembly**. Gondwana Res. 27, 87-896.
- Pereira, L.M.M., Zucchetti, M., 2000. **Projeto Leste: Petrografia. Relatório Integrado. Etapa II**. CPRM/CODEMIG, Belo Horizonte, Brazil, p. 96.
- Richard, L.L. 1995. **MINPET Geological Software – mineralogical and petrological data processing system**.
- Rogers, J.W., Santosh, M., 2004. **Continents and Supercontinents**. Oxford University Press, p. 289.
- Schmidt, M.W. 1992. **Amphibole composition in tonalite as a function of pressure: an experimental calibration of the Al-in-hornblende barometer**. *Contribution to Mineral Petrology*, 110: 304-310.

- Seidensticker, U. e Wiedemann, C.M., 1992. **Geochemistry and origin of lower crustal granulite facies rocks in the Serra do Caparaó region, Esp.Santo/Minas Gerais, Brazil.** J. South Amer. Earth Sci., v. 6, pp. 289-298.
- Sluitner, Z., Weber-Diefenbach, K., 1989. **Geochemistry of charnoenderbitic granulites and associated amphibolitic gneisses in the coast region of Espírito Santo, Brazil.** Zentralblatt für Geol. Paleontol. I (5/6), 917-931.
- Söllner, E, Lammerer, B. e Wiedemann-Leonardos, C.M., 2000. **Dating the Ribeira Mobile Belt of Brazil.** In: Sonderheft, Zeit. f. Angw. Geol., Hannover/2000, pp, 245-255.
- Streckeisen, A. 1976. **To each plutonic rock its proper name.** In: Earth – sci. Rev., 12:1. 33.
- Trompette, R., 1994. **Geology of Western Gondwana (2000-500 Ma).** In: **Pan-African/Brasiliano Aggregation of South America and Africa.** A.A. Balkema, Rotterdam, p. 350.
- Tedeschi, M., 2013. **Caracterização do arco magmático do Orógeno Araçuaí entre Frei Inocêncio e Itambacuri, MG. Master Thesis.** UFMG, Belo Horizonte, Brazil, p. 127.
- Tuller, M., 2000. **Folha Ipanema. Projeto Leste.** CPRM-CODEMIG. <http://www.portalgeologia.com.br/mapa/>.
- Tuller, M.P., 1993. **Texto Explicativo da Folha SE. 24-Y-C-VI, Colatina.** In: Tuller, M.P. (org.), Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil, DNPM/CPRM Brasília. 163p.
- Tulloch, A. J. 1979. **Secondary Ca–Al silicates as low-grade alteration products of granitoid biotite.** Contributions to Mineralogy and Petrology. 69,105–117.
- Vieira, V.S., 2007. **Significado do Grupo Rio Doce no Contexto do Orógeno Araçuaí.** Ph.D. Thesis. IGC-UFMG, Belo Horizonte, Brasil, p. 117.
- Wallace, P.J., Carmichael, I.S., 1994. **S speciation in submarine basaltic glasses as determined by measurements of S K α X-ray wavelength shifts.** Am. Mineral. 79, 161–167.
- Wiedemann, C.M., Mendes, J.C., Costa-de-Moura, J.C., Costa Nascimento, R.C., Ludka, I.P., 1997. **Granitoids of the Espírito Santo magmatic arc.** In: International Symposium on Granites and Associated Mineralizations, 2 ISGAM, Salvador, Excursions Guide, 57-76.
- Wiedemann, C.M., Medeiros, S.R., Ludka, I.P., Mendes, J.C., Costa-de-Moura, J.C., Costa Nascimento, R.C., 2002. **Architecture of late orogenic plutons in the Araçuaí-Ribeira fold belt, Southeast Brazil.** Gondwana Res. 5 (2), 381-399.
- Whitney, D.L. & Evans, B.W. 2010. **Abbreviations for Names of Rock-Forming Minerals.** American Mineralogist, 95 (1): 185 – 187.
- Williams, H.; Turner, F.J.; Gilbert, C.M. 1970. **Petrografia: uma introdução ao estudo das rochas em seções delgadas.** Editora Polígono. 424p.

APÊNDICE A – TABELA DE PONTOS

Pontos	Coordenada E (UTM)	Coordenada N (UTM)	Litologia	Foliação	Amostra
ES-01	260885	7717520	Ortognaisse Estrela		Lâmina
ES-02	261050	7717625	Ortognaisse Estrela		Lâmina
ES-03	258774	7722254	Leucogranito/Ortognaisse Estrela	15°/80°	Lâmina/Química mineral
ES-04	258182	7723650	Leucogranito		Lâmina
ES-05	260682	7715319	Ortognaisse Estrela		Lâmina/Química mineral
ES-06	260929	7713630	Ortognaisse Estrela		Lâmina/Química mineral
ES-07	259866	7712243	Leucogranito		Lâmina
ES-08	259345	7711918	Ortognaisse Estrela	120°/50°	
ES-09	259441	7711269	Ortognaisse Estrela		
ES-10	257014	7725336	Ortognaisse Estrela		
ES-11	256834	7725251	Ortognaisse Estrela		Lâmina
ES-12	255958	7725459	Ortognaisse Estrela		Lâmina
ES-13	254986	7725340	Ortognaisse Estrela		
ES-14	253295	7724945	Ortognaisse Estrela		Lâmina
ES-15	256159	7722112	Leucogranito	335°/70°	Lâmina
ES-16	255518	7721521	Ortognaisse Estrela		Lâmina
ES-17	254933	7720781	Ortognaisse Estrela		
ES-18	254970	7720284	Ortognaisse Estrela		
ES-19	259307	7722792	Ortognaisse Estrela		Lâmina
ES-20	260957	7722247	Diorito AC		
ES-21	258256	7723000	Ortognaisse Estrela		
ES-22	258162	7723438	Leucogranito		
ES-23	258183	7723479	Leucogranito	213°/65°	
ES-24	258021	7723752	Leucogranito		
ES-25	258235	7723941	Ortognaisse Estrela		
ES-26	258234	7724127	Ortognaisse Estrela		
ES-27	258084	7724580	Ortognaisse Estrela		
ES-28	258054	7724987	Ortognaisse Estrela		
ES-29	258112	7725294	Ortognaisse Estrela		
ES-30	257851	7725472	Ortognaisse Estrela		Lâmina
ES-31	257904	7725581	Ortognaisse Estrela		
ES-32	257663	7725545	Ortognaisse Estrela		
ES-33	258346	7722135	Ortognaisse Estrela	25°/65°	Lâmina
ES-34	257761	7722184	Ortognaisse Estrela	15°/70°	
ES-35	257361	7721904	Ortognaisse Estrela		
ES-36	256833	7722112	Ortognaisse Estrela		
ES-37	256002	7722409	Ortognaisse Estrela		
ES-38	255469	7722457	Ortognaisse Estrela		
ES-39	255834	7722008	Leucogranito		
ES-40	255982	7722026	Leucogranito		
ES-41	255753	7721779	Ortognaisse Estrela		
ES-42	255820	7722555	Ortognaisse Estrela		
ES-43	255500	7722700	Ortognaisse Estrela		

ES-44	255122	7722937	Ortognaisse Estrela		
ES-45	255721	7722623	Ortognaisse Estrela		
ES-46	255690	7722737	Ortognaisse Estrela		
ES-47	255637	7722840	Ortognaisse Estrela		
ES-48	258574	7722609	Ortognaisse Estrela		Lâmina
ES-49	259120	7722385	Ortognaisse Estrela		Lâmina
ES-50	259220	7722312	Ortognaisse Estrela		
ES-51	258215	7722632	Ortognaisse Estrela	120°/70°	
ES-52	258105	7722579	Ortognaisse Estrela	50°/65°	
ES-53	257995	7722563	Ortognaisse Estrela	5°/75°	Lâmina
ES-54	257998	7722751	Ortognaisse Estrela		
ES-55	258198	7722802	Leucogranito		
ES-56	259327	7722620	Ortognaisse Estrela		
ES-57	259388	7722667	Ortognaisse Estrela		
ES-58	259430	7722653	Ortognaisse Estrela		
ES-59	259462	7722548	Ortognaisse Estrela		
ES-60	259549	7722531	Ortognaisse Estrela		
ES-61	259644	7722480	Ortognaisse Estrela		
ES-62	259728	7722416	Ortognaisse Estrela	14°/30°	
ES-63	259847	7722400	Ortognaisse Estrela		
ES-64	259978	7722428	Ortognaisse Estrela	28°/70°	
ES-65	259965	7722514	Ortognaisse Estrela		
ES-66	259383	7723312	Ortognaisse Estrela		
ES-67	259560	7723366	Ortognaisse Estrela		
ES-68	259625	7723368	Ortognaisse Estrela	38°/60°	
ES-69	259474	7723437	Ortognaisse Estrela		
ES-70	259691	7723688	Ortognaisse Estrela		
ES-71	259712	7723793	Ortognaisse Estrela		
ES-72	259550	7722987	Ortognaisse Estrela	50°/75°	
ES-73	259689	7722961	Ortognaisse Estrela		
ES-74	259749	7722929	Ortognaisse Estrela		
ES-75	259882	7722883	Ortognaisse Estrela		
ES-76	258398	7723224	Ortognaisse Estrela		
ES-77	258521	7723352	Leucogranito		
ES-78	258661	7723322	Leucogranito	10°/45°	
ES-79	258720	7723422	Leucogranito		
ES-80	258778	7723785	Ortognaisse Estrela		
ES-81	258924	7723871	Ortognaisse Estrela		
ES-82	258842	7723840	Ortognaisse Estrela		
ES-83	258971	7723770	Ortognaisse Estrela		
ES-84	259073	7723685	Ortognaisse Estrela	040°/15°	
ES-85	259199	7723584	Ortognaisse Estrela		
ES-86	259953	7722831	Ortognaisse Estrela		
ES-87	260050	7722754	Ortognaisse Estrela		
ES-88	260253	7722605	Ortognaisse Estrela	340°/60°	
ES-89	260361	7722470	Ortognaisse Estrela		
ES-90	260600	7722329	Ortognaisse Estrela		

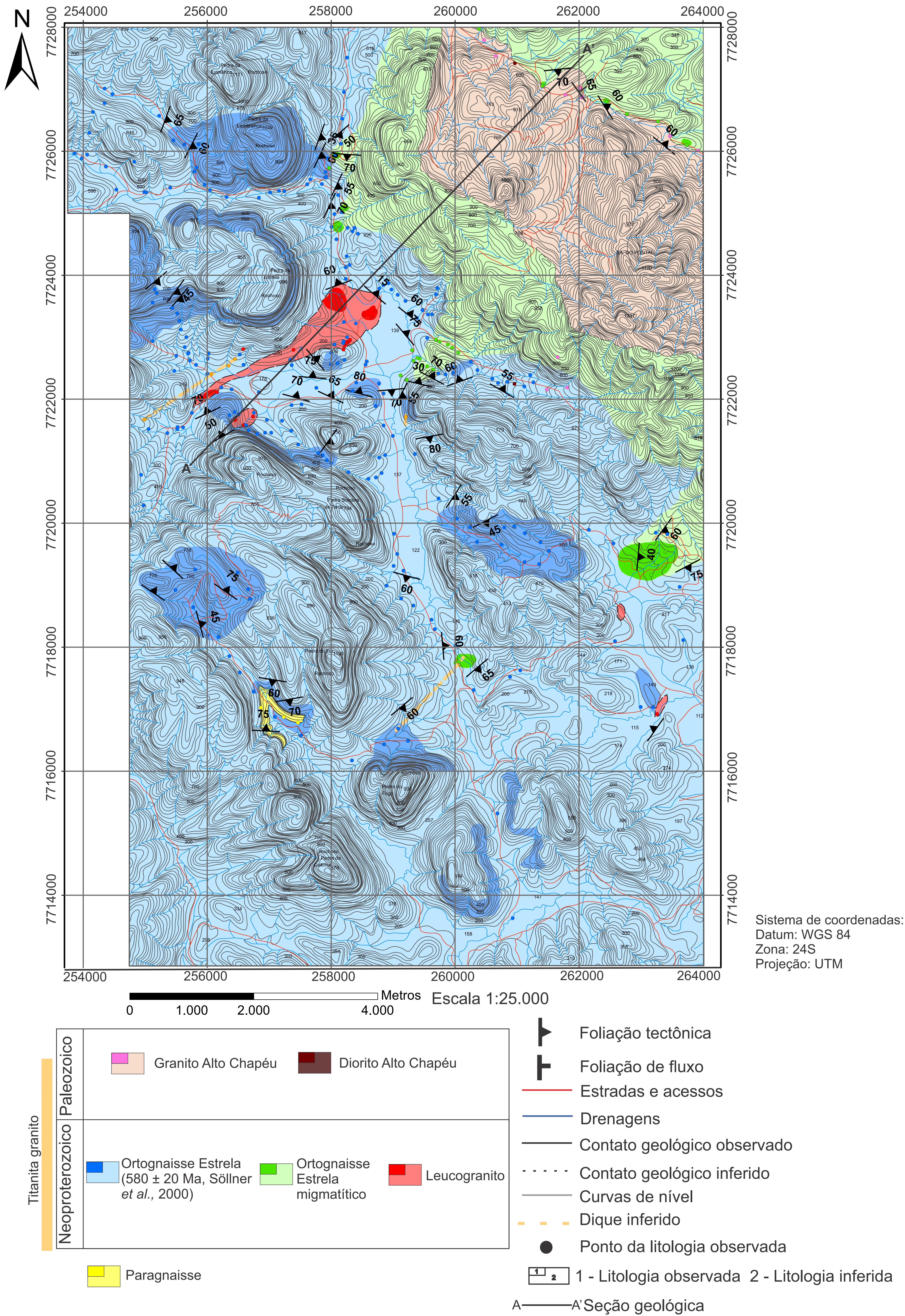
ES-91	260694	7722262	Ortognaisse Estrela		
ES-92	260844	7722281	Ortognaisse Estrela		
ES-93	261117	7722204	Ortognaisse Estrela	30°/55°	Lâmina
ES-94	261262	7722272	Ortognaisse Estrela		
ES-95	261212	7722392	Ortognaisse Estrela		
ES-96	261480	7722155	Granito AC		
ES-97	261654	7722678	Granito AC	147°/70°	
ES-98	261806	7722189	Granito AC		
ES-99	258554	7722556	Ortognaisse Estrela		
ES-100	257521	7721917	Ortognaisse Estrela		
ES-101	256393	7722161	Ortognaisse Estrela	155°/60°	
ES-102	256425	7722475	Titanita granito		Lâmina
ES-103	256587	7722553	Ortognaisse Estrela		
ES-104	256449	7722649	Titanita granito		
ES-105	256524	7722722	Ortognaisse Estrela		
ES-106	256579	7722807	Leucogranito		
ES-107	256227	7722190	Ortognaisse Estrela		
ES-108	256002	7722429	Titanita granito		
ES-109	256006	7722654	Ortognaisse Estrela		
ES-110	256020	7722733	Ortognaisse Estrela		
ES-111	256754	7721784	Ortognaisse Estrela		
ES-112	256738	7721721	Leucogranito		
ES-113	256626	7721584	Ortognaisse Estrela		
ES-114	258305	7722959	Leucogranito		
ES-115	258258	7722921	Leucogranito		
ES-116	258238	7722921	Leucogranito		
ES-117	258201	7722934	Ortognaisse Estrela		
ES-118	258192	7722905	Diorito AC		Lâmina
ES-119	258053	7722885	Ortognaisse Estrela		
ES-120	258206	7723246	Ortognaisse Estrela		
ES-121	256669	7721499	Ortognaisse Estrela		
ES-122	256586	7721582	Leucogranito		
ES-123	256507	7721756	Ortognaisse Estrela		
ES-124	256450	7721667	Leucogranito		
ES-125	256441	7721795	Ortognaisse Estrela		
ES-126	256360	7721741	Ortognaisse Estrela	330°/50°	
ES-127	257032	7721459	Ortognaisse Estrela		
ES-128	258299	7724166	Ortognaisse Estrela	340°/60°	
ES-129	258250	7724306	Ortognaisse Estrela		
ES-130	258073	7724772	Ortognaisse Estrela	115°/70°	
ES-131	258263	7724763	Ortognaisse Estrela		
ES-132	258344	7724709	Ortognaisse Estrela		
ES-133	258432	7724669	Ortognaisse Estrela		
ES-134	258375	7724762	Ortognaisse Estrela		
ES-135	258170	7725021	Ortognaisse Estrela		
ES-136	258243	7725101	Ortognaisse Estrela		
ES-137	258183	7725086	Ortognaisse Estrela	115°/55°	Lâmina

ES-138	257612	7725467	Ortognaisse Estrela		Lâmina
ES-139	257244	7725354	Ortognaisse Estrela		
ES-140	258007	7724782	Ortognaisse Estrela		
ES-141	257364	7722550	Ortognaisse Estrela		
ES-142	257918	7725584	Ortognaisse Estrela	115°/60°	
ES-143	257340	7722636	Ortognaisse Estrela		
ES-144	257965	7725729	Ortognaisse Estrela	184°/70°	Lâmina
ES-145	257393	7722797	Leucogranito	185°/60°	
ES-146	257944	7725889	Ortognaisse Estrela	110°/35°	
ES-147	255610	7721547	Ortognaisse Estrela		
ES-148	258062	7725926	Ortognaisse Estrela	140°/50°	
ES-149	255521	7721551	Ortognaisse Estrela		
ES-150	258157	7726121	Ortognaisse Estrela		
ES-151	255053	7721519	Ortognaisse Estrela		
ES-152	258176	7726526	Ortognaisse Estrela		
ES-153	255301	7721413	Titanita granito		
ES-154	258205	7726955	Ortognaisse Estrela		
ES-155	258404	7722270	Ortognaisse Estrela		
ES-156	258255	7727509	Ortognaisse Estrela		
ES-157	258846	7722092	Ortognaisse Estrela		
ES-158	257909	7725665	Ortognaisse Estrela		
ES-159	258717	7721891	Ortognaisse Estrela	175°/70°	
ES-160	257158	7725361	Ortognaisse Estrela		
ES-161	259204	7721712	Titanita granito	118°/55°	
ES-162	256310	7725262	Ortognaisse Estrela		
ES-163	258845	7721576	Ortognaisse Estrela		
ES-164	255357	7721454	Ortognaisse Estrela		
ES-165	258996	7721408	Ortognaisse Estrela		
ES-166	255700	7722747	Ortognaisse Estrela		
ES-167	259354	7721117	Ortognaisse Estrela	170°/80°	
ES-168	255663	7723001	Ortognaisse Estrela		
ES-169	258870	7721099	Ortognaisse Estrela		
ES-170	255575	7723124	Ortognaisse Estrela		
ES-171	258775	7721057	Ortognaisse Estrela		
ES-172	255554	7723265	Ortognaisse Estrela	130°/55°	
ES-173	258814	7720810	Ortognaisse Estrela		
ES-174	255516	7723383	Ortognaisse Estrela	127°/45°	
ES-175	258723	7720737	Ortognaisse Estrela		
ES-176	255436	7723473	Ortognaisse Estrela		
ES-177	258601	7720716	Ortognaisse Estrela		
ES-178	255120	7723557	Ortognaisse Estrela	140°/30°	Lâmina
ES-179	258278	7720825	Ortognaisse Estrela		
ES-180	255184	7723712	Ortognaisse Estrela		
ES-181	259731	7720400	Ortognaisse Estrela		
ES-182	255151	7723775	Ortognaisse Estrela		
ES-183	260029	7720076	Ortognaisse Estrela	123°/55°	
ES-184	259012	7719829	Ortognaisse Estrela		

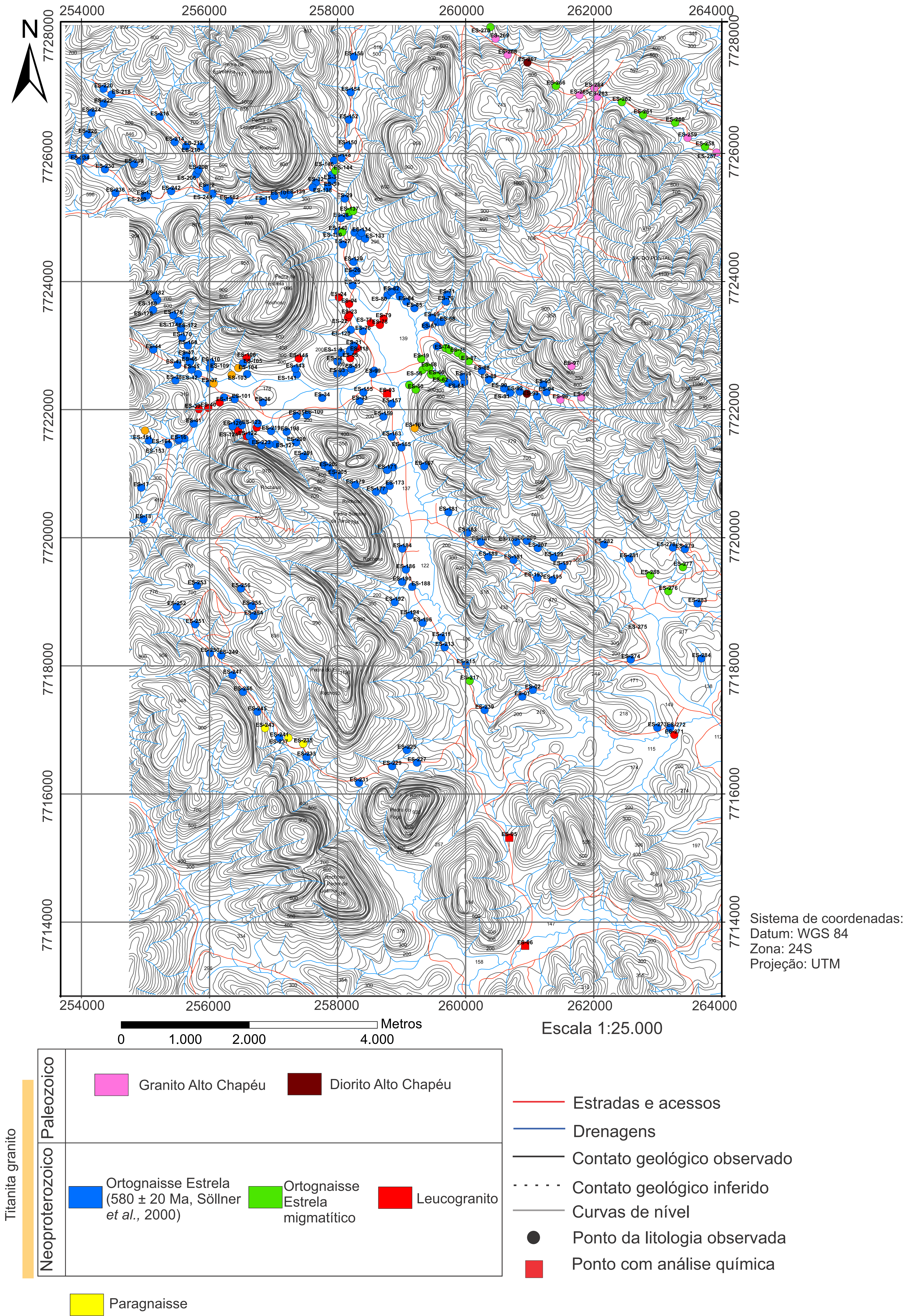
ES-185	260792	7719932	Ortognaisse Estrela		
ES-186	259066	7719503	Ortognaisse Estrela		
ES-187	260239	7719936	Ortognaisse Estrela		
ES-188	259166	7719234	Ortognaisse Estrela		
ES-189	260354	7719699	Ortognaisse Estrela	153°/45°	
ES-190	259007	7719310	Ortognaisse Estrela		
ES-191	260748	7719654	Ortognaisse Estrela		
ES-192	258893	7718994	Ortognaisse Estrela	195°/60°	
ES-193	261121	7719373	Ortognaisse Estrela		
ES-194	259128	7718785	Ortognaisse Estrela		
ES-195	261356	7719340	Ortognaisse Estrela		
ES-196	259328	7718671	Ortognaisse Estrela		
ES-197	261514	7719552	Ortognaisse Estrela		
ES-198	257206	7721653	Ortognaisse Estrela		
ES-199	261376	7719691	Ortognaisse Estrela		
ES-200	257355	7721489	Ortognaisse Estrela		
ES-201	257467	7721270	Ortognaisse Estrela		Lâmina
ES-202	257793	7721133	Ortognaisse Estrela		
ES-203	257862	7721095	Ortognaisse Estrela		
ES-204	257931	7721015	Ortognaisse Estrela		
ES-205	257999	7720971	Ortognaisse Estrela	125°/35°	
ES-206	255794	7725674	Ortognaisse Estrela		
ES-207	261125	7719837	Ortognaisse Estrela		
ES-208	255827	7725737	Ortognaisse Estrela	117°/60°	
ES-209	260954	7719950	Ortognaisse Estrela		
ES-210	255861	7726110	Ortognaisse Estrela		
ES-211	259620	7718443	Ortognaisse Estrela		
ES-212	255634	7726110	Ortognaisse Estrela		
ES-213	259672	7718290	Ortognaisse Estrela		
ES-214	255456	7726177	Ortognaisse Estrela	110°/65°	
ES-215	260004	7718019	Ortognaisse Estrela		
ES-216	255224	7726571	Ortognaisse Estrela		
ES-217	260063	7717765	Ortognaisse Estrela	85°/60°	
ES-218	254470	7726919	Ortognaisse Estrela		
ES-219	256963	7721664	Ortognaisse Estrela		
ES-220	254345	7727010	Ortognaisse Estrela		
ES-221	256934	7721459	Ortognaisse Estrela		
ES-222	254345	7726775	Ortognaisse Estrela		
ES-223	256807	7721440	Ortognaisse Estrela		
ES-224	254158	7726633	Ortognaisse Estrela		
ES-225	259082	7716685	Ortognaisse Estrela	140°/60°	
ES-226	254099	7726298	Ortognaisse Estrela		
ES-227	259239	7716489	Ortognaisse Estrela		
ES-228	254063	7725946	Ortognaisse Estrela		
ES-229	258853	7716434	Ortognaisse Estrela		
ES-230	254366	7725752	Ortognaisse Estrela		Lâmina
ES-231	258335	7716173	Ortognaisse Estrela		

ES-232	253861	7725967	Ortognaisse Estrela		
ES-233	257515	7716578	Ortognaisse Estrela		
ES-234	253977	7725884	Ortognaisse Estrela		
ES-235	257463	7716783	Paragnaisse		
ES-236	254532	7725381	Ortognaisse Estrela		
ES-237	257233	7716874	Paragnaisse	3°/75°	
ES-238	254822	7725832	Ortognaisse Estrela		
ES-239	260297	7717309	Ortognaisse Estrela	140°/65°	
ES-240	255018	7725338	Ortognaisse Estrela		
ES-241	257092	7716876	Ortognaisse Estrela	170°/70°	
ES-242	255402	7725411	Ortognaisse Estrela		
ES-243	256866	7717026	Paragnaisse	135°/75°	
ES-244	256047	7725373	Ortognaisse Estrela		
ES-245	256747	7717282	Ortognaisse Estrela	189°/60°	
ES-246	256524	7717593	Ortognaisse Estrela		
ES-247	256358	7717855	Ortognaisse Estrela		
ES-248	2560548	7717930	Ortognaisse Estrela		
ES-249	256182	7718166	Ortognaisse Estrela	75°/45°	
ES-250	256008	7718196	Ortognaisse Estrela		
ES-251	255776	7718647	Ortognaisse Estrela		
ES-252	255487	7718924	Ortognaisse Estrela	34°/70°	
ES-253	255807	7719251	Ortognaisse Estrela	42°/60°	
ES-254	256689	7718779	Ortognaisse Estrela	240°/70°	
ES-255	256661	7718934	Ortognaisse Estrela	35°/75°	
ES-256	256492	7719206	Ortognaisse Estrela		
ES-257	263918	7726012	Granito AC		
ES-258	263738	7726103	Ortognaisse Estrela	39°/60°	
ES-259	263466	7726243	Granito AC		
ES-260	263273	7726480	Ortognaisse Estrela		
ES-261	262771	7726602	Ortognaisse Estrela	58°/60°	
ES-262	262439	7726800	Ortognaisse Estrela		
ES-263	262052	7726882	Granito AC	74°/65°	
ES-264	262009	7727020	Granito AC		
ES-265	261778	7726911	Granito AC		
ES-266	261409	7727054	Granito AC	174°/70°	
ES-267	260965	7727418	Granito AC		
ES-268	260655	7727538	Granito AC		
ES-269	260468	7727791	Granito AC		
ES-270	260388	7727973	Ortognaisse Estrela		
ES-271	263258	7716923	Leucogranito		
ES-272	263192	7717031	Ortognaisse Estrela	305°/85°	
ES-273	262994	7717035	Ortognaisse Estrela		
ES-274	262579	7718098	Ortognaisse Estrela		
ES-275	262686	7718559	Leucogranito		
ES-276	263165	7719164	Ortognaisse Estrela	95°/40°	
ES-277	263393	7719542	Ortognaisse Estrela	126°/60°	
ES-278	263237	7719846	Ortognaisse Estrela		

ES-279	263423	7719823	Ortognaisse Estrela		
ES-280	262881	7719412	Ortognaisse Estrela		
ES-281	262554	7719675	Ortognaisse Estrela		
ES-282	262158	7719894	Ortognaisse Estrela		
ES-283	263622	7718973	Ortognaisse Estrela	152°/75°	
ES-284	263680	7718115	Ortognaisse Estrela		



ANEXO B - MAPA DE PONTOS



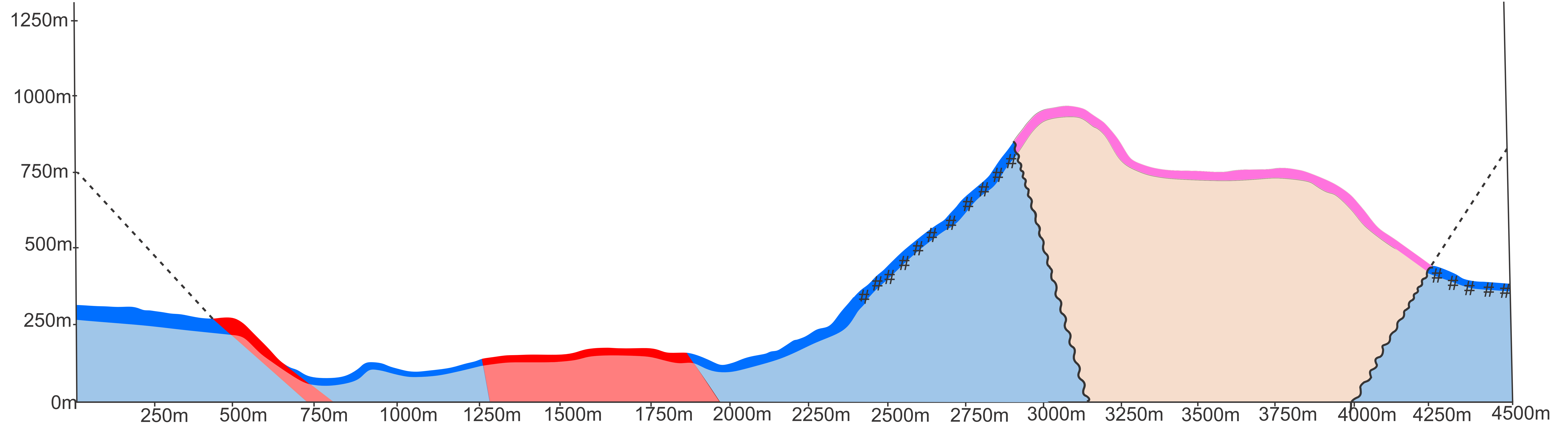
SW

ANEXO C - SEÇÃO GEOLÓGICA

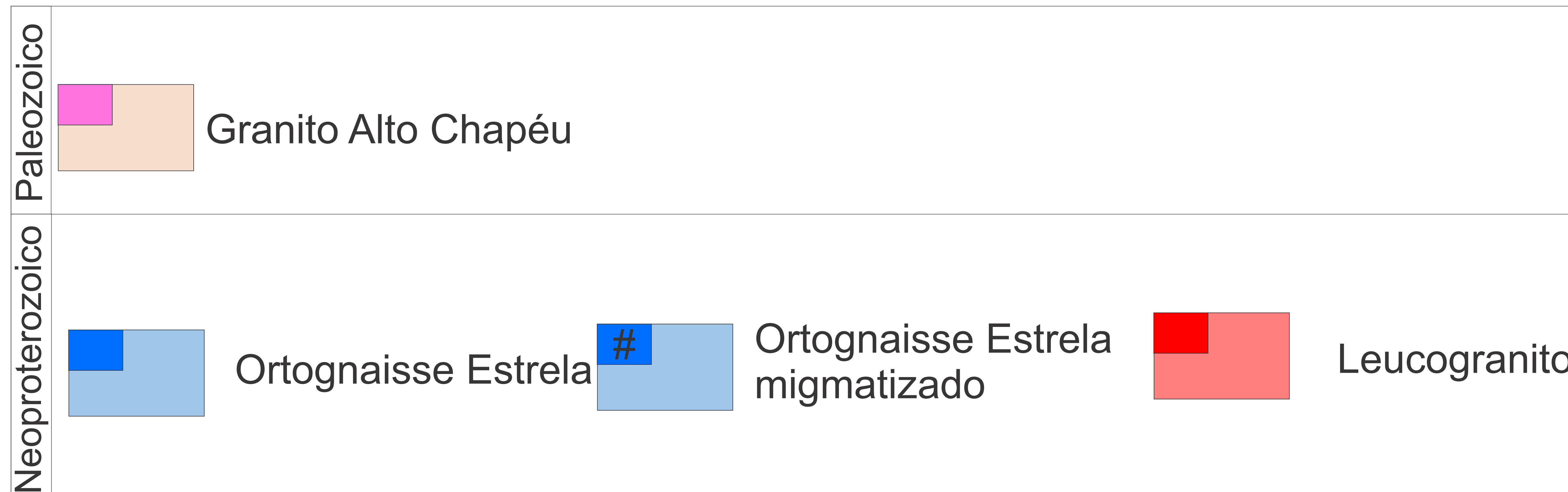
NE

A

A'



LEGENDA



ESCALA HORIZONTAL(m): 0m 125m 250m

ESCALA VERTICAL(m): 0m 125m 250m

SIMBOLOGIA

- ~ Contato intrusivo
- - - Flanco da dobra